บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

1. สรีรวิทยาของการกระตุ้นให้ออกดอกด้วยอุณหภูมิต่ำ

1.1 การกระตุ้นให้ออกดอกด้วยอุณหภูมิต่ำ

ปกติประเทศที่อยู่ในเขตหนาว จะต้องปลูกเมล็ดธัญพืชฤดูหนาวก่อนที่ฤดูหนาวจะสิ้นสุดเพื่อที่ธัญพืชจะสามารถให้ผลผลิตได้ในปีเดียวกัน ส่วนธัญพืชฤดูใบไม้ผลินั้นปกติจะทนความหนาวเย็นของฤดูหนาวไม่ได้ จึงต้องเพาะปลูกในฤดูใบไม้ผลิ ซึ่งจะสามารถออกดอกได้หลังจากนี้ไม่นาน และคำว่า Vernalization ก็เกิดจากประสบการณ์ทางการเกษตรดังกล่าวนี้มาแต่ดั้งเดิม

ในปี 1857 Klippart ได้แสดงให้เห็นว่าการให้อุณหภูมิต่ำแก่ต้นอ่อนของธัญพืชฤดูหนาวเป็นเวลา 2 ถึง 3 สัปดาห์แล้วตามด้วยอุณหภูมิอากาศที่อุ่นขึ้นก็จะมีผลทำให้สามารถออกดอกได้ ปรากฏการณ์นี้เป็นกับพืชอื่นด้วยและได้เรียกพืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำเพื่อที่จะออกดอกว่าพืชสองฤดู(biennials)หรือพืชฤดูหนาวปีเดียว (winter annual) ซึ่งจะต่างจากพืชฤดูใบไม้ผลิ (spring plant) หรือพืชฤดูร้อนปีเดียว (summer annual) เพราะพวกหลังนี้จะไม่ต้องการอุณหภูมิต่ำ สำหรับการออกดอก

Lysenko (1928) ทดลองพบว่าการที่เมล็ดธัญพืชฤดูหนาวที่ดูดน้ำเพียงเล็กน้อย (น้ำ 50 ส่วนต่อเมล็ด 100 ส่วน)ก็จะสามารถทำให้เมล็ดมีความไวต่ออุณหภูมิต่ำที่จะชักนำให้ออกดอกได้ เนื่องจากเป็นธัญพืชฤดูใบไม้ผลิเรียกเป็นภาษารัสเซียว่า Jarovoe ดังนั้นจึงเรียกขบวนการที่ทำให้ธัญพืชฤดูหนาวมีพฤติกรรมคล้ายกับธัญพืชฤดูใบไม้ผลิ เป็นภาษารัสเซียว่า " Jarovization " และยังให้เรียกเป็นภาษาอังกฤษ ฝรั่งเศส และเยอรมัน ว่า "Vernalization" (Vernum ในภาษาละติน แปลว่า ฤดูใบไม้ผลิ) (Chouard, 1961) ดังนั้นคำว่า vernalization จึงมีความหมายเฉพาะในการกระตุ้นการออกดอกในธัญพืช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฤดูหนาวด้วยอุณหภูมิต่ำให้กับต้นกล้า เมล็ดชื้นหรือเมล็ดที่กำลังงอก แต่ความหมายที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือการกระตุ้นให้กำเนิดดอกโดยการให้ได้รับความหนาวเย็นมาก่อน (Wilkins, 1969)

ความต้องการอุณหภูมิต่ำเพื่อการออกดอกนี้ อาจเป็นในแบบของปริมาณ (quatitatives) คือในที่สุดต้นพืชจะออกดอกได้แม้ว่าต้นพืชจะไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำก็ตามหรือในแบบของคุณภาพ (qualitatives)คือต้นพืชต้องได้รับอุณหภูมิต่ำจึงจะออกดอก

พืชที่ใช้ศึกษา vernalization กันมากได้แก่ ข้าวไรย์พันธุ์ Petkus (Secale cereale var. Petkus) ซึ่งต้องการอุณหภูมิต่ำแบบปริมาณและพืชสองฤดูที่เรียกว่า Hyoscyamus niger ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำแบบคุณภาพคือต้องได้รับอากาศหนาวเสียก่อนจึงจะออกดอก จากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าข้าวไรย์พันธุ์ Petkus สายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิ ปกติเป็นพันธุ์ที่ต้องการวันยาวแบบปริมาณ เมื่อปลูกในอุณหภูมิปลูกปกติถ้าอยู่ในสภาพวันยาวการมีใบเพียง 7 ใบก็สามารถกำเนิดช่อดอกได้ แต่ถ้าอยู่ในสภาพวันสั้นต้องมีใบถึง 22 ใบจึงจะออกดอก ส่วนสายพันธุ์ฤดูหนาวนั้น หากปลูกในอุณหภูมิปลูกปกติโดยไม่ได้รับอากาศหนาวมาก่อนจะต้องมีใบ 22 ใบจึงจะออกดอกได้ การให้ได้รับอากาศหนาวนี้อาจนำเมล็ดที่อุ้มน้ำไปไว้ที่อุณหภูมิ 1°ซ.เป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนนำไปปลูก ต้นกล้าก็จะตอบสนองเหมือนกับสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิ ส่วนความสามารถในการตอบสนองจะเหมือนกับสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิมากน้อยเพียงไร ขึ้นอยู่กับช่วงกำหนดเวลาที่ได้รับความหนาวเย็น การได้รับความหนาวเย็นเพียง 4 วัน ก็ทำให้เกิดผลได้บ้าง แต่ถ้าได้รับความหนาวเย็นเป็นเวลาติดต่อกันหลายสัปดาห์ก็จะเพียงพอทำให้เกิดดอกได้ดี ภายใต้สภาพวันยาวหลังจากที่มีใบ 7 ถึง 9 ใบ (Wilkins, 1969)

ในกลุ่มธัญพืชซึ่งเป็นกลุ่มที่ต้องการอุณหภูมิต่ำแบบปริมาณนั้น พบว่าความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แตกต่างระหว่างสายพันธุ์ฤดูหนาวและสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิของข้าวไรย์พันธุ์ Petkus นั้นพบว่าเป็นเพราะยีน (gene) 1 ตัว (Vince - Prue, 1975) คือสายพันธุ์ฤดูหนาวจะมียีนที่ต้องการอุณหภูมิต่ำเป็นลักษณะด้อย ทดลองได้โดยนำ สายพันธุ์ฤดูหนาวผสมกับสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิ ได้ลูกผสมชั่วที่ 1 ซึ่งจะแสดงลักษณะของสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิเมื่อนำลูกผสมชั่วดังกล่าวมาผสมตัวเองจะได้ลูกผสมชั่วที่ 2 ซึ่งแสดงลักษณะของสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิต่อสายพันธุ์ฤดูหนาวเป็น 3 ต่อ 1 (Bonner and Galston, 1952)นอกจากนี้ยังพบในธัญพืชอื่นด้วยเช่นข้าวสาลี (Triticum sp.) (Wilkins, 1969) และที่ไม่ใช่ธัญพืชเช่น Arabidopsis thaliana (Steward, 1971) Aira praecox Myosotis dicolor และถั่วเมล็ดกลม (Pisum sativum) สำหรับถั่วเมล็ดกลมนี้เมื่อเมล็ดได้รับอุณหภูมิต่ำและมีการเจริญเติบโต 2 ถึง 3 ข้อก็สามารถออกดอกได้ (Bleasdale, 1973)

สำหรับพืชสองฤดู ซึ่งต้องการอุณหภูมิต่ำแบบคุณภาพนั้นพบว่าในสภาพธรรมชาติพืชพวกนี้จะงอกในช่วงฤดูใบไม้ผลิ แล้วเจริญเป็นต้นที่มีลักษณะเป็นพุ่มแจ้ (rosette) ต่อเมื่อผ่านฤดูหนาวแล้วจึงจะยืดช่อดอกออกมาการออกดอกในฤดูที่สองนี้เป็นผลมาจากการได้รับอุณหภูมิต่ำของฤดูหนาวที่ผ่านมา(Bonner and Galston, 1952 ; Salisbury and Ross, 1969) หากไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำแล้ว จะทำให้ฤดูที่สองมีการเจริญทางลำต้นที่มีลักษณะเป็นพุ่มแจ้ต่อไปเรื่อย ๆ (Delvin, 1969 ; Torrey, 1969) แสดงว่าพืชสองฤดูต้องได้รับอุณหภูมิต่ำเสียก่อนจึงจะออกดอกได้ (Salisbury and Ross, 1969) ตัวอย่างพืชสองฤดูได้แก่ วัชพืชหลายชนิด คื่นช่าย (celery) (Greulach, 1973)แครอท money - plant (Lunaria sp.) เฮ็นเบน (Henbane ; Hyoscyamus niger) (Wilkins, 1969) Oenothera biennis (Vince - Prue, 1975) บีท กะหล่ำปลี คะน้า กะหล่ำดาว foxglove (Salisbury and Ross, 1969)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และ หอมหัวใหญ่ (Allium cepa) (Grubben, 1977) เป็นต้น

สำหรับเฮนเบนพบว่า มี 2 ชนิดคือ พวกล้มลุกที่เมล็ดจะงอกในฤดูใบไม้ผลิแล้วออกดอกในฤดูร้อนโดยไม่ต้องการอุณหภูมิต่ำเพื่อการออกดอก ส่วนพวกสองฤดู (biennial) เมล็ดจะงอกในฤดูใบไม้ผลิเจริญเป็นพุ่มแจ้ในฤดูร้อนอยู่ข้ามฤดูหนาวจะออกดอกในฤดูร้อนปีถัดไป แสดงว่าต้องได้รับอุณหภูมิต่ำเสียก่อนจึงจะสามารถออกดอกได้ จากการศึกษาพบว่าทั้งสองกลุ่มจะแตกต่างกันด้วยยีน 1 ตัว เช่นเดียวกับพวกธัญพืช(Bonner and Galston,1952 ;Salisbury, 1963) สำหรับพืชสองฤดูชนิดนี้ การที่จะสามารถออกดอกหลังจากที่รับอุณหภูมิต่ำก็ต่อเมื่ออยู่ในระยะพุ่มแจ้(rosette)หรือมีอายุอย่างต่ำ 10 วันแล้วเท่านั้น (Delvin, 1969) นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมล็ดของพืชสองฤดู (biennial) ที่ดูดน้ำแล้ว แต่ยังไม่งอกก็สามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้เช่นเดียวกับเมล็ดธัญพืชฤดูหนาว ตัวอย่างได้แก่แครอท (Daucus carota) และ บีท (Vince - Prue, 1975) พืชบางชนิดก็สามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำตั้งแต่ก่อนเมล็ดจะงอกหรือช่วงสั้นๆ หลังจากงอกเป็นต้นไป เช่น บีท (Beta vulgaris) (Bleasdale, 1973) พืชสองฤดูหลายชนิด เมล็ดไม่สามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำจนกว่าต้นพืชจะเจริญมีขนาดหนึ่งเสียก่อนจึงจะตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้ดีเช่น เฮนเบน คื่นช่าย (Apium graveolens) rape (Brassica napus) Lunaria biennis Moench. Oenothera biennis (Vince - Prue, 1975) กะหล่ำปลี กะหล่ำดาว (Bleasdale, 1973) foxglove (Digitalis purpurea). (Steward, 1971)

พืชยืนต้น (perennial) ก็มีลักษณะคล้ายกับพืชสองปีแต่พืชยืนต้นจะยังไม่ตายหลังจากออกดอก และในการที่จะออกดอกครั้งต่อไปต้องได้รับอุณหภูมิต่ำเสียก่อน(Bleasdale, 1973) ความต้องการอุณหภูมิต่ำมีทั้งแบบปริมาณและคุณภาพ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(Greulach, 1973) ตัวอย่างของพืชยืนต้นที่ต้องได้รับอุณหภูมิต่ำเสียก่อน จึงจะออกดอกได้แก่ primose (Primula vulgaris) rye - grass (Lolium perenne) (Bleasdale, 1973) Michaelamas daisy (Aster novi - belgii) raspberry (Rubus idaeus) (Steward, 1971) Geum urbanum (Vince - Prue, 1975) และ chrysanthemum พันธุ์ Sunbean (Wilkins, 1969)

1.2 ตำแหน่งที่เกิดผลจากอุณหภูมิต่ำ

ส่วนมากพืชที่ต้องการอากาศหนาวนั้น ส่วนของพืชที่ตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ จะอยู่ที่ปลายยอด โดยเซลของ meristem ที่ปลายยอดจะตอบสนองต่ออุณหภูมิ (Greulach, 1973 ; Salisbury,1963 ; Wilkins,1969) จากการทดลองให้ความเย็นเฉพาะจุดกับพืชสองฤดูและพืชยืนต้นพบว่า การให้ความเย็นตรงบริเวณที่มีการเติบโตเท่านั้น จึงจะออกดอกได้ โดยไม่คำนึงว่าส่วนอื่น ๆ ของต้นจะอยู่ในอุณหภูมิเท่าไร การศึกษาให้ความเย็นตรงปลายยอดนี้ได้ผลในคื่นช่าย บีทเบญจมาศ (Vince - Prue, 1975) เฮ็นเบนและหอมหัวใหญ่ (Salisbury, 1963) นอกจากนี้ยังพบในแรชดิชอีกด้วย สำหรับแรชดิชนั้นการเด็ดเอาชิ้นส่วนที่กำลังมีการเติบโตออกทันทีที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ แล้วเอายอดของต้นที่ไม่ได้ผ่านอุณหภูมิต่ำมาต่อแทนที่ ปรากฏว่าไม่ออกดอก สำหรับพืชพวกที่เมล็ดสามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้นั้น การเด็ดใบเลี้ยงออกจากคัพภะ (embryo) ของแรชดิช และการแยกคัพภะหรือชิ้นส่วนเล็ก ๆ ของคัพภะที่ยังมีส่วนประกอบสำคัญของยอดอยู่ ก็จะยังสามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้ ซึ่งพบในข้าวไรย์พันธุ์Petkus สำหรับปลายยอดที่เด็ดออกมาจากต้นแครอทสามารถทำให้เกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้เช่นกัน (Vince - Prue, 1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไม่เพียงแต่ apical meristem เท่านั้น ที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้ เซลที่กำลังแบ่งตัวทุกเซลรวมถึงเซลที่อยู่ในใบก็สามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้เช่นกัน การทดลองกับใบ ของ Lunaria annua ยืนยันความจริงข้อนี้ คือ เมื่อเด็ดใบจากต้นที่ไม่มีผลของอุณหภูมิต่ำมาปักชำ ต้นที่เกิดใหม่จากส่วนโคนของใบนี้จะต้องผ่านอุณหภูมิต่ำเสียก่อน จึงจะออกดอกได้ แต่ถ้านำใบที่เด็ดออกมานี้ไปไว้ในอุณหภูมิ 5°ซ. ต้นที่เกิดใหม่จากใบนี้จะมีคุณสมบัติเหมือนกับต้นที่ผ่านอุณหภูมิต่ำมาแล้ว ผลของอุณหภูมิต่ำนี้จะจำกัดอยู่ตรงบริเวณโคนใบ ซึ่งเซลกำลังแบ่งตัวแบบไมโตซิสอยู่ ดังนั้นถ้าเด็ดเอาส่วนของโคนใบออกราว 5 เซนติเมตร ต้นที่เกิดใหม่จากรอยเด็ดนี้จะไม่มีคุณสมบัติของการผ่านอุณหภูมิต่ำมาก่อนเลย

อายุของใบมีส่วนสำคัญในการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ ใบแก่จะไม่สามารถตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้ เมื่อให้ทั้งต้นได้รับอุณหภูมิต่ำ จะมีแต่ใบอ่อนที่สุดเท่านั้นที่สามารถผลิตต้นใหม่ที่แสดงคุณสมบัติว่าเคยผ่านอุณหภูมิต่ำมาก่อน

กิจกรรมของ meristem ก็มีส่วนในการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำ เช่น ที่อุณหภูมิ -2°ซ. หรือต่ำกว่า การแบ่งเซลแบบไมโตซิสจะหยุดชงักอย่างเด็ดขาด แต่ข้าวไรย์สายพันธุ์ฤดูหนาวก็มีการตอบสนองต่อผลของอุณหภูมิต่ำอย่างช้า นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า ในการให้เมล็ด Cheiranthus ได้รับอุณหภูมิต่ำก็ไม่ปรากฏว่ามีการแบ่งเซลแบบไมโตซิส แสดงว่าผลของการได้รับอุณหภูมิต่ำดูเหมือนว่าจะเกิดกับเซลที่สามารถแบ่งตัวได้ หรือเซลที่กำลังจะมีการแบ่งตัว (Vince - Prue, 1975)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 ระดับอุณหภูมิที่ให้ผลดี

พืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำเพื่อการออกดอกชั้นอยู่กับชนิดของพืช ระยะเวลาในการได้รับอุณหภูมิต่ำ ความต่อเนื่องกันของอุณหภูมิต่ำ ตลอดจนอุณหภูมิภายหลังจากการได้รับอุณหภูมิต่ำ (Curtis and Clark, 1950)

โดยทั่วไปอุณหภูมิต่ำที่มีประสิทธิภาพในการกระตุ้นการออกดอกของพืชอยู่ในช่วงประมาณ 1 ถึง 10 °ซ. (Bonner and Galston, 1952) หรือตั้งแต่เหนือจุดเยือกแข็งถึง 8 ถึง 10 °ซ.อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วง 9 ถึง 17 °ซ. (Salisbury and Ross, 1969)และก็มีบางรายงานพบว่าอุณหภูมิต่ำที่มีประสิทธิภาพคือ 2 ถึง 5 °ซ. (Bleasdale, 1973) และอุณหภูมิเพื่อกำเนิดดอกโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง -2 ถึง10 °ซ. (Greulach, 1973) นอกจากนี้ก็พบว่าพืชส่วนใหญ่ผลของอุณหภูมิต่ำจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 5 ° ซ. (Pharis and Reid, 1985)

การศึกษากับข้าวไรย์สายพันธุ์ฤดูหนาวพบว่า เมื่อให้เมล็ดงอกที่อุณหภูมิ 1 ถึง 2 °ซ. แล้วย้ายมาปลูกในฤดูใบไม้ผลิ ทำให้เวลาที่ใช้ในการออกดอกลดลง 6 สัปดาห์ เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดงอกที่อุณหภูมิ 24 °ซ. แต่อุณหภูมิต่ำที่ได้รับในขณะที่เมล็ดกำลังงอกนี้จะไม่มีผลต่อเวลาใช้ในการออกดอกของข้าวไรย์สายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิ ดังนั้นเมื่อให้เมล็ดข้าวไรย์สายพันธุ์ฤดูหนาวได้รับอุณหภูมิต่ำ และเมล็ดข้าวไรย์สายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำ แล้วนำมาปลูกในฤดูใบไม้ผลิพร้อมกัน พบว่ามีการออกดอกพร้อมกัน (Thomas, 1960)

อุณหภูมิต่ำที่ทำให้เกิดผลของอุณหภูมิต่ำเป็นไปในแบบปริมาณ คือ จะได้ผลเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานก็จะตอบสนองถึงระดับอิ่มตัว สำหรับซูการ์บีท (sugar beet) ที่ได้ผลอยู่ในช่วงประมาณ +10 ถึง-2 °ซ. หรือต่ำกว่านี้ โดยมีอุณหภูมิที่พอเหมาะประมาณ 7 °ซ. ส่วนข้าวไรย์สายพันธุ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฤดูหนาวพันธุ์ Petkus อยู่ในช่วง -5 ถึง +15 °ซ. อุณหภูมิที่พอเหมาะประมาณ 1 ถึง 7 °ซ. (Vince-Prue, 1975) การปลูกบีท ซึ่งเป็นพืชสองฤดูพันธุ์ Crosby Egyptian ที่อุณหภูมิ 10 ถึง 16 °ซ. ทำให้ติดเมล็ดและฝักได้ในฤดูแรก ถ้าปลูกที่อุณหภูมิ 16 ถึง 21 °ซ. จะติดฝักบ้างเล็กน้อย และถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะไม่ติดฝัก นอกจากนี้การปลูกคื่นช่าย (celery) ที่อุณหภูมิ 4 ถึง 10 °ซ. หรือ 10 ถึง 16 °ซ. เป็นเวลา 10 ถึง 15 วัน หลังจากนั้นนำมาไว้ที่อุณหภูมิ 16 ถึง 21 °ซ. จะมีการพัฒนาช่อดอกและติดเมล็ด(Meyer and Anderson,1952) การศึกษาในกะหล่ำปลีพบว่าเมื่อให้พืชได้รับอุณหภูมิ 10 ถึง 16 °ซ.แล้วตามด้วยอุณหภูมิ 16 ถึง 20 °ซ.จะทำให้มีการกำเนิดดอกการพัฒนาดอกและเมล็ดซึ่งจะเกิดอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าได้รับอุณหภูมิ 21 ถึง 27 °ซ. จะยังคงเจริญทางลำต้นต่อไป (Meyer and Anderson, 1952) และจากการทดลองกับกะหล่ำปลีพันธุ์เบา 4 พันธุ์พบว่าอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 12 °ซ. จะมีผลในการออกดอกอย่างมากและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการออกดอกคือ 4 ถึง 7 °ซ. ส่วนการให้อุณหภูมิ 5 °ซ.เป็นเวลา 3 ถึง 4 สัปดาห์หรืออุณหภูมิ 12 °ซ. เป็นเวลา 6 เดือนจะทำให้มีการออกดอก นอกจากนี้กะหล่ำปลีจะตอบสนองต่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นเมื่อต้นมีใบ 7 ถึง 8 ใบ หรือเป็นต้นที่มีอายุ 5 ถึง 6 สัปดาห์ (Bleasdale, 1973)

จากการศึกษากับกะหล่ำดาว (Brassica oleracea var gemmifera)เมื่อต้นได้ผ่านระยะ juvenile แล้วเมื่อได้อุณหภูมิต่ำ 4 ถึง 7 °ซ. เป็นเวลา 12 สัปดาห์จะทำให้เกิดดอก (Brewster, 1981) และยังมีรายงานพบว่าเมื่อกะหล่ำดาวได้รับอุณหภูมิ 3 °ซ.เป็นเวลา 3 สัปดาห์จะเกิดตาดอก (floral primodia)และเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำนี้นาน 6 ถึง 9 สัปดาห์ดอกก็จะบานความยาววันจะไม่มีปฏิสัมพันธ์ในการออกดอก (Salisbury, 1963)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองกับหัวไช่เท้า (japanish radish) อุณหภูมิที่ให้กำเนิดดอก คือ 5 °ซ.เป็นเวลา 120 วัน และถ้าได้รับอุณหภูมิ 0 °ซ.จะไม่เกิดดอก (Leopold, 1964)

อุณหภูมิที่ทำให้กะหล่ำดอกเกิดตาดอก(curd) คือ 15 °ซ.หรือต่ำกว่านี้ ซึ่งจะแตกต่างกันในพันธุ์ต่างๆ (Bleasdale, 1973) และอุณหภูมิที่ทำให้เบญจมาศออกดอก คือ 1 ถึง 12 °ซ. (Steward, 1971)

พืชที่เจริญเป็นต้นแล้วเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำจะสร้างตาดอก ตัวอย่างเช่น กะหล่ำดาว กะหล่ำปลี sweet turnip foxglove(Digitalis purpurea) stocks (Matthiola sp.) และ Sweet William (Duanthus barbatus) (Salisbury, 1963)

1.4 อายุของพืช

ปรากฏการณ์ที่เห็นได้ชัดประการหนึ่ง จากผลของอุณหภูมิต่ำคือ ความสัมพันธ์ระหว่างอายุของพืชกับการตอบสนองอุณหภูมิต่ำ อายุของพืชที่ไวต่อผลของอุณหภูมิต่ำจะแตกต่างไปตามพืชชนิดต่าง ๆ เช่นการได้รับอุณหภูมิต่ำจะทำให้เมล็ดธัญญพืชที่กำลังงอกและคัพภะที่กำลังเจริญอยู่บนต้นแม่สามารถเกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้ มีรายงานว่าถั่วเมล็ดกลม ข้าวสาลีและข้าวบาเลย์สายพันธุ์ฤดูหนาว ถั่วปากอ้า และแรชดิชสามารถเกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้บางส่วน ตั้งแต่เมล็ดเริ่มแก่ที่อยู่บนต้นแม่

ยังมีพืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งต่างไปจากพืชที่กล่าวมาแล้วก็คือ จะต้องมีการเจริญเติบโตอยู่ช่วงระยะหนึ่งก่อนที่จะสามารถตอบสนองอุณหภูมิต่ำที่ได้รับ ดังที่เคยกล่าวมาแล้วใน Hyoscyamus niger พวกสองฤดูจะต้องมีลักษณะเป็นฟุ่มแจ้และต้องเสร็จสิ้นการเจริญเติบโตอย่างน้อย 10 วัน จึงจะมีความไวต่อการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำ แต่ก็มีบางรายงานได้ชี้ให้เห็นว่า ความไวต่อการเกิดผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ของอุณหภูมิต่ำจะเกิดเมื่อ Hyoscyamus niger ได้เสร็จสิ้นการเจริญเติบโตแล้ว 30 วัน สำหรับพืชชนิดอื่นความไวต่อการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำขึ้นอยู่กับจำนวนใบที่มีอยู่เช่น Oenothera sp. จะต้องมีใบ 6 ถึง 8 ใบ จึงจะเกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้ และกะหล่ำดาว (Brussels sprouts) ต้องมี 30 ใบ

คำว่า " แก่พอที่จะออกดอก " (ripeness - to - flower) มีความหมายถึง ระยะที่ต้นพืชมีความไวต่อช่วงแสง ซึ่งอาจนำมาใช้กับการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ำได้ พืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำนั้น สภาวะที่พร้อมที่จะออกดอกจะอยู่ในระยะการเจริญขั้นต่างๆ เช่น การมีจำนวนข้อหรือใบ ซึ่งใช้สำหรับวัดว่าพืชแก่พอที่จะออกดอก การที่ต้องมีการเติบโตทางลำต้นถึงระดับหนึ่งแสดงว่าจำเป็นต้องมีการสะสมปัจจัยบางอย่าง(ที่อาจจะเป็นตัวรับสารกระตุ้นจากผลของอุณหภูมิต่ำ) ที่จำเป็นสำหรับที่จะเกิดความไวต่ออุณหภูมิต่ำและมีพืชจำนวนมากที่จะต้องมีใบจำนวนหนึ่งเป็นอย่างน้อยเสียก่อนจึงจะตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำซึ่งสนับสนุนข้อคิดประการนี้

สารประกอบที่พบในต้นพืชส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในชบวนการสังเคราะห์แสง สำหรับพืชที่เมล็ดตอบสนองอุณหภูมิต่ำได้ แสดงว่าสารกระตุ้นตามสมมุติฐานนี้เกิดขึ้นแล้วอย่างพอเพียงซึ่งอาจได้จากต้นแม่หรือสังเคราะห์ขึ้นในระหว่างการพัฒนาของคัพภะ

จากการศึกษาความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำในArabidopsis thaliana ที่การเจริญในระยะต่างๆได้ผลที่น่าสนใจคือ เมล็ดของพืชชนิดนี้จะไวต่อการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำอย่างมาก ความไวจะลดลงตามอายุของต้นกล้า และลดลงจนกระทั่งถึงสัปดาห์ที่สองของการเจริญ และเมื่อต้นเจริญเติบโตต่อไป ความไวต่ออุณหภูมิต่ำก็จะเปลี่ยนไปคือ ตั้งแต่ระยะนี้ต้นพืชจะเพิ่มความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิตามอายุที่เพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

มีบางรายงานที่แปลผลจากการที่ Arabidopsis thaliana สูญเสียความไวในช่วงแรกว่าเป็นเพราะ อาหารสำรองภายในเมล็ดลดลงและการเพิ่มความไวในช่วงหลัง เป็นผลจากการที่มีคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นแล้ว

การศึกษาที่เกี่ยวกับการที่คาร์โบไฮเดรต มีส่วนเกี่ยวข้องกับชบวนการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้แก่การเกิดผลของอุณหภูมิต่ำในคัพภะของข้าวไรย์สายพันธุ์ฤดูหนาวพันธุ์ Petkus คัพภะที่แยกออกจาก endosperm (แหล่งอาหารสำรอง) แล้วให้ซูโครสและแร่ธาตุต่างๆทดแทน จะเกิดเป็นต้นที่สมบูรณ์ ถ้าคัพภะไม่ได้รับคาร์โบไฮเดรต การเกิดผลของอุณหภูมิต่ำจะช้าลง แต่ก็จะเกิดได้สมบูรณ์อาจใช้น้ำตาลหรือคาร์โบไฮเดรตซึ่งเคลื่อนที่ได้ช้านำมาให้แก่คัพภะได้(เช่นhemicellulose) และมีหลักฐานจำนวนมากที่สนับสนุนข้อคิดที่ว่ามีการใช้คาร์โบไฮเดรตเกิดขึ้นในระหว่างที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ (Devlin, 1969)

สำหรับกะหล่ำปลี การให้อุณหภูมิต่ำที่ 5°ซ เป็นเวลา 3 6 และ 9 สัปดาห์ แก่ต้นพืชที่มีอายุระหว่าง 2 ถึง 12 สัปดาห์ พบว่า ความไวต่อการได้รับอุณหภูมิต่ำจะเพิ่มมากขึ้น ตามอายุของพืชที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีอายุ 5 ถึง 6 สัปดาห์ ที่อายุขั้นนี้ต้นกะหล่ำปลีจะออกดอกถึง 60 % ภายหลังจากที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำ 5°ซ เพียง 3 สัปดาห์ ส่วนต้นที่มีอายุน้อยกว่านี้ การที่จะออกดอกได้เท่าๆ กัน จะต้องอยู่ในอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 6 ถึง 9 สัปดาห์ (Bleasdale, 1973)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.5 เสถียรภาพของผลจากอุณหภูมิต่ำ

ถึงแม้ว่าอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดการลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำในช่วงแรกของการได้รับอุณหภูมิต่ำ แต่ภาวะของผลจากอุณหภูมิต่ำนี้มักจะมีเสถียรภาพดีมาก หากมีการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำอย่างสมบูรณ์ และจะคงอยู่ต่อไปตลอดช่วงที่มีการเจริญเติบโตทางลำต้น จนกระทั่งในที่สุดมีการออกดอก สำหรับใน Hyoscyamus ภาวะที่เกิดจากการชักนำด้วยอุณหภูมิต่ำจะยังคงอยู่ได้มากกว่า 190 วันภายใต้สภาพวันสั้น ซึ่งในเวลานี้ใบทั้งหมดที่มีอยู่เป็นใบที่เกิดขึ้นหลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำแล้ว

โดยทั่วไปแล้วเซลทั้งหมดที่เกิดจากการแบ่งตัว ที่แบ่งมาจากเซลซึ่งเกิดผลของอุณหภูมิต่ำแล้ว จะมีสภาพที่มีผลของอุณหภูมิต่ำด้วย ดังนั้นจึงคล้ายกับภาวะที่เกิดจากผลของอุณหภูมิต่ำ มีลักษณะที่เพิ่มปริมาณได้เองเช่นในพืชบางชนิด แม้ว่าจะสามารถลบล้างได้โดยบางกรรมวิธีก็ตาม เหตุการณ์ดังกล่าวคล้ายกับการชักนำด้วยแสง (Vince - Prue, 1975)

1.6 การถ่ายทอดผลของอุณหภูมิต่ำ

การถ่ายทอดผลของอุณหภูมิต่ำนี้ สามารถพบในพืชที่อยู่ในตระกูล (family) ต่างกันและเป็นพืชที่ชนิด (species) และสกุล (genera) ต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า มีการถ่ายทอดผลของอุณหภูมิต่ำในพืชที่มีการตอบสนองที่แตกต่างกันต่อสิ่งเร้า วิธีการศึกษาก็คล้ายกับที่ใช้กับการศึกษาผลของความยาววันที่มีต่อการออกดอกเช่นการเด็ดใบแก่ของต้นที่รับการถ่ายทอด (receptor) จะทำให้มีการถ่ายทอดดีขึ้น หรือการกระทำดังกล่าวจำเป็นสำหรับการถ่ายทอด การเก็บใบของพืชไว้ในที่มืดก็จะมีผลคล้ายกัน โดยเชื่อว่าวิธีการนี้จะทำให้การเคลื่อนย้ายของน้ำตาลซูโครส (sucrose) จากต้นให้ (donor) ไปยังต้นรับได้ และสารที่เกิดจากผลของอุณหภูมิต่ำ ก็จะเคลื่อนตามไปด้วย อย่างไรก็ตามยังไม่อาจทราบว่า สารกระตุ้นที่เกิดจากผลของอุณหภูมิต่ำนี้เคลื่อนที่ไปในเนื้อเยื่อใด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการศึกษาใน Hyoscyamus niger สารกระตุ้นที่เกิดจากผลของอุณหภูมิต่ำ จะไม่สามารถเคลื่อนผ่านเข้าไปในต้นรับ เว้นแต่ว่าจะมีเนื้อเยื่อของรอยต่อเกิดขึ้นแล้ว สารกระตุ้นนี้ก็เหมือนกับสารกระตุ้นที่เกิดจากความยาววันคือยังไม่สามารถที่จะสกัดออกมาจากต้นที่ได้รับผลของอุณหภูมิต่ำ หรือจากต้นที่ไม่ต้องการอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสารกระตุ้นสามารถทำให้เกิดดอกในต้นที่ต้องการอุณหภูมิต่ำแต่ยังไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำ ถึงแม้ว่าจะมีรายงานระบุว่าสารสกัดจากเมล็ดข้าวไรย์ที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ สามารถทดแทนความต้องการอุณหภูมิต่ำได้ในพืชชนิดเดียวกัน

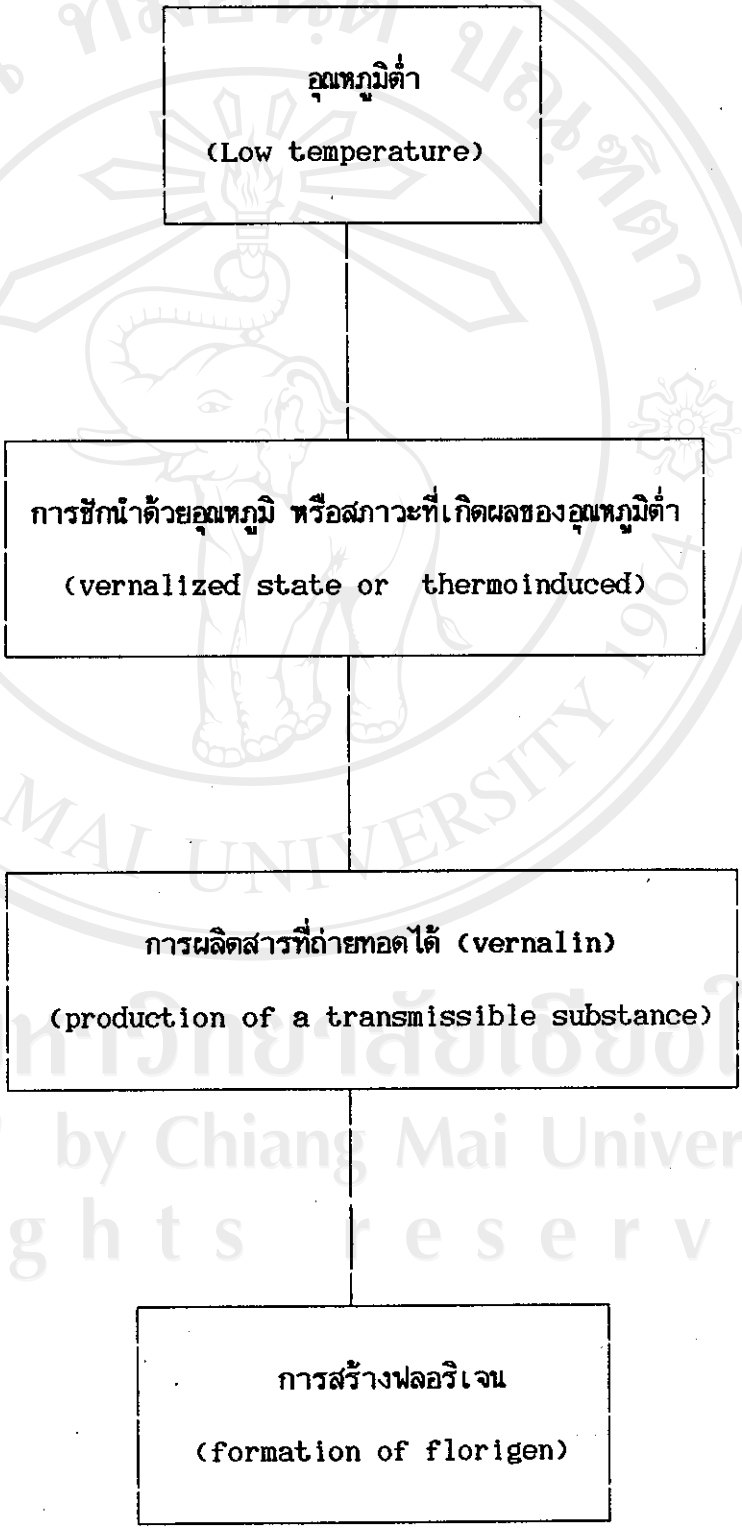
พืชหลายชนิดที่มีการต่อเชื่อมกัน แสดงว่ามีสารกระตุ้นที่เกิดจากผลของอุณหภูมิต่ำซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายได้เช่นพบในพืชวันยาว(ที่ต้องการอุณหภูมิต่ำหรือไม่ก็ตามสำหรับการออกดอก)ที่ทดลองในสภาพวันยาว ซึ่งในสภาพนี้ต้นที่ให้สารถ่ายทอดจะอยู่ในสภาวะที่กำลังออกดอกเสมอ และอาจเป็นไปได้ว่าผลของอุณหภูมิต่ำ อาจจะไม่มีการผลิตและถ่ายทอดฟลอริเจน (florigen) จากต้นให้นั่นคือ การให้อุณหภูมิต่ำอาจไม่มีผลโดยตรงในการผลิตฮอร์โมนเฉพาะที่ถ่ายทอดได้ แต่อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะแห่งในกลุ่มเซล ที่ทำให้สามารถผลิตฟลอริเจนในเวลาต่อมาเมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม ดังหลักฐานที่พบในเบญจมาศซึ่งเป็นพืชวันสั้น การนำเอาต้นที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำไปต่อกับต้นที่ยังไม่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ พบว่าไม่ทำให้ออกดอก นอกจากนี้การศึกษาการยืดตัวของเซล ซึ่งก็เป็นผลจากอุณหภูมิต่ำในเบญจมาศ และพืชอื่นที่ต้องการอุณหภูมิต่ำ ก็พบว่า มีเฉพาะเซลในช่วง 0.3 มิลลิเมตรจากจุดยอด (shoot apex) ขณะที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเท่านั้น ที่สามารถยืดตัวเป็นปกติ เซลที่อยู่ห่างจากนี้จะไม่ยืดตัวถึงแม้ว่าจะสามารถตอบสนองต่อ GA_3 โดยการยืดตัวต่อไปอีก ซึ่งแสดงว่าสารที่ถ่ายทอดได้นี้ไม่ได้เกิดขึ้นจากการได้รับอุณหภูมิต่ำหรืออย่างน้อยก็ยังไม่เกิดจนกว่าจะเกิดผลของอุณหภูมิต่ำอย่างสมบูรณ์ดังนั้นผลของอุณหภูมิต่ำจึงเกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เฉพาะจุด ซึ่งทำให้ต้นพืชสามารถผลิตสารที่ถ่ายทอดได้ภายใต้สภาพที่เหมาะสม ปัญหาก็คือ สารที่ถ่ายทอดได้ที่เกิดจากผลของอุณหภูมิต่ำนี้ต่างจากฟลอริเจนที่เกิดขึ้นหลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ

ปรากฏการณ์ที่แสดงว่าสารนี้ คือ เวอนาลิน (vernalin) จากการต่อเชื่อมระหว่างพืชวันสั้น คือที่พบในยาสูบพันธุ์ Maryland Mammoth กับ Hyoscyamus niger พบว่ายาสูบที่เป็นต้นให้สามารถชักนำให้พืชสองฤดู Hyoscyamus niger (ที่ยังไม่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ) ออกดอกได้เมื่อต้นที่ต่อเชื่อมแล้วอยู่ในวันยาว โดยที่ต้นยาสูบยังไม่ออกดอก การที่ต้นรับ(Hyoscyamus niger) ออกดอกได้แสดงว่าไม่ได้เกิดจากการถ่ายทอดฟลอริเจนจากต้นให้ เพราะต้นให้ไม่ออกดอกแสดงว่ามีสารอื่นที่ถ่ายทอดได้มาเกี่ยวข้อง มีการเสนอความคิดว่าอุณหภูมิต่ำทำให้ผลิตสารที่ถายทอดได้ที่ไม่ใช่ฟลอริเจน และสารนี้จะเกิดขึ้นก่อนการสร้างฟลอริเจน ลำดับของการเกิดสารดังกล่าวจากการชักนำด้วยอุณหภูมิต่ำ เป็นดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างไรก็ตาม ถ้าใช้ Hyoscyamus niger ที่เป็นพืชฤดูเดียวเป็นต้นที่ให้ แล้วใช้ต้นที่เป็นพืชสองฤดูที่ยังไม่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำเป็นต้นรับพบว่า จะออกดอกได้ก็ต่อเมื่อต้นให้อยู่ในวันยาวและกำลังออกดอกเท่านั้นเนื่องจาก Hyoscyamus niger ทั้งสองต้นที่ใช้ศึกษายังไม่ผ่านอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงไม่มีการถ่ายทอดสารเวอนาลิน และเนื่องจาก Hyoscyamus niger เป็นพืชวันยาว ดังนั้นจะออกดอกในวันยาวเท่านั้น เมื่ออยู่ในวันสั้น ใบจะมีผลในการยับยั้งไม่ให้ชักนำให้ออกดอก แต่ถ้าแยกต้นให้ (พวกฤดูเดียว) ที่ผ่านวันสั้น หลังจากต่อเชื่อม 12 วันออก ก็พบว่าต้นรับที่เป็นพืชสองฤดู สามารถออกดอกถึง 50 % วิธีการนี้ยังผลให้สามารถแยกผลของอุณหภูมิต่ำออกจากผลการยับยั้งของใบที่ผ่านการได้รับวันสั้น และถึงแม้ว่าผลที่ได้นี้จะเป็นไปในทางลบ แต่ก็แสดงว่ามีสารกระตุ้นบางอย่างที่ไม่ใช่ฟลอริเจนถ่ายทอดไปได้ ในเบญจมาศที่ต้องการความยาววันเป็นกลาง แต่ต้องการอุณหภูมิต่ำ (ทำให้ออกดอกได้ด้วยจิบเบอเรลลิน) เมื่อนำไปต่อกับพันธุ์วันสั้น จะทำให้ออกดอกได้ แต่สารที่ถ่ายทอดได้นี้ไม่ได้แสดงว่ามีความเกี่ยวข้องกับผลของอุณหภูมิต่ำ (Vince - Prue, 1975)

1.7 จิบเบอเรลลิน

ความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่าง จิบเบอเรลลินกับผลจากอุณหภูมิต่ำมีเรื่องที่น่าสนใจในความสามารถในการที่จะทำให้พืชวันยาวที่มีลักษณะพุ่มแจ้ออกดอกได้ การให้GA_3สามารถทำให้พืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำสามารถออกดอกได้โดยไม่ต้องได้รับอุณหภูมิต่ำ ใน Hyoscyamus niger การให้ GA_3 จะทำให้พวกที่เป็นพืชฤดูเดียวออกดอกได้ในสภาพวันสั้น และทำให้พวกที่เป็นพืชสองฤดูออกดอกได้ในสภาพวันยาวโดยไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำ แต่เมื่ออยู่ในสภาพวันสั้นเมื่อให้ GA_3 พวกที่เป็นพืชสองฤดูจะไม่ออกดอก จะมีเพียงลำต้นที่ยืดตัแสดงว่าการให้ GA_3 จะสามารถทดแทนสภาพวันยาวหรือความต้องการอุณหภูมิต่ำอย่างใดอย่างหนึ่งได้แต่ GA_3 ก็ไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถทดแทนความต้องการสภาพทั้งสองในพืชต้นเดียวกันได้

การที่พืชชนิดต่าง ๆ ตอบสนองต่อ GA_3 ที่ให้นั้น ชี้ให้เห็นว่าจิบเบอเรลลินอาจจะมีบทบาทในขบวนการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำ เมื่อมีการวิเคราะห์อย่างจริงจังแสดงให้เห็นว่าไม่มีความเกี่ยวข้องระหว่างกันมีหลายกรณีที่การให้ GA_3 ไม่ทำให้พืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำสามารถออกดอกได้ พืชที่ตอบสนองต่อGA_3 มักเป็นพืชที่ต้องการความยาววันที่เป็นกลางหรือพืชวันยาว ซึ่งถ้าไม่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำแล้วจะมีลักษณะเป็นพุ่มแจ้ การให้จิบเบอเรลลินมักทำให้ยอดยืดตัวก่อนที่จะกำเนิดดอกในขณะที่หลังจากเกิดผลของอุณหภูมิต่ำหรือจากการชักนำด้วยวันยาว ในพืชที่ต้องการอุณหภูมิต่ำนั้นการยืดตัวของช่อดอก และการเกิดดอกจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน

ความคล้ายคลึงกับการชักนำด้วยช่วงแสง อีกประการหนึ่งก็คือ การให้จิบเบอเรลลินไม่ทำให้ต้นที่ยังเล็กอยู่ออกดอก และจิบเบอเรลลินไม่สามารถทดแทนความต้องการอุณหภูมิต่ำในพืชวันสั้น สำหรับ Chrysanthemum morifolium การให้ GA_3 ทำให้พันธุ์ที่ต้องการความยาววันที่เป็นกลางยืดตัวและออกดอกได้ โดยไม่ต้องได้รับอุณหภูมิต่ำ แต่เมื่อให้ GA_3 กับพันธุ์วันสั้นจะทำให้มีเฉพาะการยืดตัวเท่านั้นโดยไม่ออกดอก

พืชวันยาวหลายชนิดมีลักษณะพุ่มแจ้และต้องการอุณหภูมิต่ำ เมื่อให้ GA_3ในวันยาวจะไม่ออกดอก และก็มีอยู่หลายชนิดที่ยืดตัวโดยไม่ออกดอกเช่น Oenothera biennis หรือไม่ตอบสนองต่อ GA_3 เช่น Eryngium variifolium ในบางกรณีก็จะมีลักษณะคล้ายกับการชักนำด้วยช่วงแสง คือ การที่พืชไม่ออกดอกนั้นอาจเป็นเพราะใช้จิบเบอเรลลินที่ผิด Myosotis alpestris จะออกดอกเมื่อใช้GA_3 และGA_7 ถ้าใช้GA_3 จะไม่ออกดอกจะมีผลเพียงทำให้ลำต้นยืดยาวออก ในทางตรงกันข้ามพืชสองฤดูเช่น Centaurium sp.พบว่าการใช้ GA_3 จะได้ผลดีกว่าการใช้ GA_1 หรือ GA_7 อย่างใดอย่างหนึ่ง การให้จิบเบอเรลลิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อาจทำให้เกิดดอกเมื่อต้นพืชได้รับการชักนำด้วยอุณหภูมิมาแล้วบางส่วน เช่น ธัญพืชฤดูหนาว ซึ่งในที่นี้จะคล้ายกับการทำให้ตาของท้อ (peach) ที่พักตัวพ้นจากการพักตัว ซึ่งความไวต่อ GA_3 จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อช่วงเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเพิ่มมากขึ้น GA_3 จะทำให้ Beta sp. ออกดอกได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าช่วงที่จะเกิดผลของอุณหภูมิต่ำเล็กน้อยและจะไม่ทำให้ออกดอกที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น

พืชหลายชนิดจะเกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้ในขณะที่เมล็ดอุ้มน้ำ การให้จิบเบอเรลลินในขั้นนี้ จะไม่ได้ผลแต่การให้ในระยะหลังของการเติบโตอาจจะได้ผล เช่น ข้าวไรย์สายพันธุ์ฤดูหนาว พันธุ์ Petkus พบว่า การให้ GA_3 ในช่วงที่มีใบ 9 ถึง 10 ใบ จะส่งเสริมการออกดอกอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่การให้สารในช่วงก่อนนี้จะมีผลเพียงเล็กน้อย การให้ GA_3 กับเมล็ด Arabidopsis sp.จะไม่ได้ผลแต่ต้นที่มีลักษณะพุ่มแจ้ที่ยังอ่อนอยู่จะตอบสนองอย่างเหมาะสมเมื่อให้จิบเบอเรลลินซึ่งในระยะนี้จะตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้เล็กน้อย

ปริมาณจิบเบอเรลลินของพืช จะเพิ่มขึ้นหลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ เบญจมาศ (Chrysanthemum morifolium) พันธุ์ที่ต้องการความยาววันเป็นกลางและต้องการอุณหภูมิต่ำ และ Althaea sp.ที่เป็นพืชสองฤดูจะมีระดับของสารที่คล้ายกับจิบเบอเรลลินเกิดขึ้นภายในต้นพืชให้ชื่อว่าสารอี (substance E) (Vince - Prue, 1975) สารอีมีผลเกี่ยวข้องกับขบวนการเกิดผลอุณหภูมิต่ำ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ทางเคมีพบว่า โครงสร้างของสารอีไม่ใช่โมเลกุลของ GA_1 ถึง GA_9 แต่สารอีก็มีคุณสมบัติทางชีววิทยาที่คล้ายกับจิบเบอเรลลิน เช่นการทำBioassay ในข้าวโพดพันธุ์แคระ (dwarf corn) นอกจากนี้สารนี้ก็ไม่มีผลในการทดสอบออกซินใน Avena sp.(Salisbury,1963)สารอีจะเพิ่มมากขึ้นระหว่างที่พืชได้รับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อุณหภูมิต่ำ ปริมาณของสารดังกล่าวดูเหมือนว่าในข้าวสาลีฤดูหนาวที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำแล้วจะมีมากกว่าพวกที่ไม่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ สำหรับ Rhaphanus sp. ปริมาณของจิบเบอเรลลินจะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่อเมล็ดหรือต้นกล้าเกิดผลของอุณหภูมิต่ำ จิบเบอเรลลินเหล่านี้ไม่แสดงให้เห็นว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับการออกดอกถึงแม้ว่าจะเป็นที่เชื่อกันว่า จิบเบอเรลลินมีส่วนเกี่ยวข้องกับการยืดตัวของพืชเมื่อได้รับอุณหภูมิต่ำ Lunaria annua เป็นพืชสองฤดูมีลักษณะเป็นพุ่มแจ้ไม่ปรากฏหลักฐานที่แสดงว่ามีการสะสมของสารที่คล้ายจิบเบอเรลลินในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ

ยังไม่เป็นที่ทราบกันถึงความสัมพันธ์ระหว่างจิบเบอเรลลินกับเวอนาลินและฟลอริเจน การที่เมล็ดพืชเกิดผลของอุณหภูมิต่ำแล้ว ไม่มีการตอบสนองต่อจิบเบอเรลลิน แสดงว่าจิบเบอเรลลินไม่มีผลโดยตรงต่อขบวนการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำซึ่งอาจจะเป็นเพราะจิบเบอเรลลินไม่ได้เป็นผลโดยตรงของการชักนำด้วยอุณหภูมิต่ำ ถึงแม้ว่าขบวนการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำจะทำให้มีการสังเคราะห์จิบเบอเรลลินซึ่งจำเป็นสำหรับขบวนการที่ทำให้เกิดดอก จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการให้ GA_3 แก่เบญจมาศพันธุ์ที่ต้องการความยาววันเป็นกลางและต้องการอุณหภูมิต่ำทำให้ออกดอกได้และสภาวะการออกดอกนี้สามารถถ่ายทอดผ่านรอยเชื่อมต่อไปยังพันธุ์วันสั้นที่ไม่ต้องการอุณหภูมิต่ำได้ แต่ถ้าให้ GA_3 โดยตรงแก่ต้นเบญจมาศพันธุ์วันสั้นจะไม่ทำให้ออกดอก แสดงว่า GA_3 ทำให้มีการเกิดสารกระตุ้นการออกดอก ที่ถ่ายทอดได้ภายในต้นที่ต้องการความยาววันเป็นกลาง (Vince - Prue, 1975)

จากการทดลองกับต้นแครอท แสดงให้เห็นว่า การให้จิบเบอเรลลินแก่พืชสามารถทดแทนความต้องการอุณหภูมิต่ำได้เมื่อทดลองกับต้นแครอทพันธุ์ Early French Forcing เมื่อให้จิบเบอเรลลิน 10 มิลลิกรัมทุกวันเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และอยู่ในอุณหภูมิ 17°ซ. จะมีการออกดอกเท่ากับต้นที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลา 6 สัปดาห์ (Street and Opik, 1976)

1.8 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความต้องการช่วงแสงกับผลของอุณหภูมิต่ำ

ความต้องการอุณหภูมิต่ำเพื่อการสร้างดอก มักมีส่วนสัมพันธ์กับความยาววันในระดับใดระดับหนึ่ง ที่พบกันมากมักเป็นความต้องการอุณหภูมิต่ำเพื่อให้เกิดผลของอุณหภูมิต่ำแล้วมักจะตามด้วยสภาพวันยาว แต่ก็ไม่จำเป็นเสมอไป พืชที่ต้องการวันยาวเพื่อชักนำให้ออกดอกนั้นภายหลังจากเกิดผลของอุณหภูมิต่ำแล้วอาจออกดอกได้มากขึ้น ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำในสภาพวันยาวแทนที่จะได้รับอุณหภูมิต่ำในสภาพที่มืดเช่น sugar beet แสดงว่ามีการชักนำของช่วงแสงจะเกิดขึ้นด้วยอย่างช้า ๆ ระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ และยังมีผลในการลดความต้องการช่วงแสงในเวลาต่อมา ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่า การชักนำด้วยผลของอุณหภูมิต่ำและการชักนำด้วยช่วงแสงอาจเกิดขึ้นเป็นอิสระต่อกัน แม้ว่าปัจจัยทั้งสองจะจำเป็นสำหรับการกำเนิดดอก ส่วนพืชสองฤดู Hyoscyamus sp.นั้นแสดงให้เห็นชัดมาก่อนแล้วว่าไม่อาจชักนำด้วยวันยาวโดยไม่มีการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำและการไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำทำให้ต้นพืชจะยังคงอยู่ในสภาพที่มีการเจริญทางลำต้นต่อไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด เนื่องจากพืชฤดูเดียวและพืชสองฤดู ต้องการความยาวช่วงแสงเหมือนกันหลังจากเกิดผลของอุณหภูมิต่ำ ผลจากการได้รับอุณหภูมิต่ำในพืชชนิดนี้จึงดูคล้ายกับว่า ทำให้สามารถออกดอกได้หลังจากที่ได้รับสภาพวันยาวsugar beet ที่เป็นพวกสองฤดูที่ไม่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ จะมีการเจริญทางลำต้นต่อไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุดโดยไม่คำนึงว่าจะอยู่ในความยาวช่วงแสงใด ดังนั้นการทำให้ต้นที่ได้รับอากาศหนาวแล้วตามด้วยสภาพวันยาว จะออกดอกได้ (เปรียบเทียบกับพวกอยู่ในความมืด) อาจเป็นเพราะการได้รับวันยาวจะทำให้เริ่มเกิดผลของการชักนำด้วยช่วงแสง ภายหลังจากที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ จากตัวอย่างเหล่านี้ดูคล้ายกับว่าผลจากอุณหภูมิต่ำ จะทำให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดการเปลี่ยนแปลงที่นำไปสู่การพัฒนาในด้านความไวในการตอบสนองต่อช่วงแสง

อย่างไรก็ตามมีหลายกรณีที่แสดงให้เห็นว่า ผลของอุณหภูมิต่ำสามารถทดแทนความต้องการช่วงแสงได้ เช่น พืชสองฤดู sugar beet ปกติจะต้องการอุณหภูมิต่ำและวันยาว แต่การยืดกำหนดการได้รับอุณหภูมิต่ำยาวนานต่อไปอีกจะสามารถออกดอกได้แม้อยู่ในสภาพวันสั้น และ<u>Spinacia</u> cv. Nobel ก็เป็นเช่นกัน ปกติต้องการวันยาว แต่สามารถออกดอกในสภาพวันสั้น หากทำให้เมล็ดเกิดผลของอุณหภูมิต่ำมาก่อนแล้ว ในทำนองเดียวกัน<u>Pisum sativum</u> cv. Kleine Rheinlanderin จะออกดอกได้เร็วขึ้นหากได้รับอุณหภูมิต่ำ หรือสภาพวันยาวหลังจากที่เด็ดเอาใบเลี้ยงออกแล้ว แต่สำหรับต้นปกติจะไม่ไวต่ออุณหภูมิและช่วงแสง (Vince - Prue, 1975)

1.9 เมตาโบลิซึมของโปรตีนและกรดนิวคลีอิค

ขบวนการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำอาจจะไม่ได้มีผลโดยตรง ในการผลิตสารที่ถ่ายทอดได้ แต่น่าจะทำให้เกิดสภาวะของผลจากอุณหภูมิต่ำเฉพาะแห่งที่ในเซลในช่วงใดช่วงหนึ่งของพัฒนาการขณะที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ สภาวะที่มีผลของอุณหภูมิต่ำจะมีในเซลลูกที่แบ่งตัวมาจากเซลที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ ถึงแม้ว่าในพืชบางชนิดจะเกิดการลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำภายใต้สภาพบางประการก็ตาม ธรรมชาติของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างที่เปลี่ยนไปเป็นสภาพของ ผลที่เกิดจากอุณหภูมิต่ำยังไม่เป็นที่ทราบกัน แต่อาจเกี่ยวข้องกับการปลดจากการปิดกั้นหรือการปลดจากการสกัดกั้นข้อมูลทางพันธุกรรมของเซล ซึ่งทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในกรดนิวคลีอิค และโปรตีนที่เกิดขึ้นขณะได้รับอุณหภูมิต่ำ

ปัจจุบันยังไม่มีหลักฐานแน่ชัด ที่แสดงว่าขบวนการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำมีส่วนเกี่ยวข้องกับการปลดจากการสกัดกั้นข้อมูลทางพันธุกรรม และข้อมูลของ messenger RNA และโปรตีน แต่ก็มีข้อบ่งชี้ว่าปรากฏการณ์นี้อาจเกิดขึ้นได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คือพบว่ามี RNA เพิ่มขึ้นในคัพภะของเมล็ดธัญพืชฤดูหนาวในระหว่างที่เมล็ดได้รับอุณหภูมิต่ำ แต่ก็เกิดขึ้นในปริมาณที่น้อย นอกจากนี้ยังพบว่า RNA เพิ่มขึ้นในธัญพืชฤดูใบไม้ผลิอีกด้วย

ในทางตรงกันข้าม จากการศึกษาไม่พบความแตกต่างด้านปริมาณ DNA หรือ RNA ในคัพภะของข้าวไรย์ฤดูหนาว พันธุ์ Petkus ระหว่างที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ หรือระหว่างที่เกิดการลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามผลของการศึกษาก็พบว่า plumule ของข้าวสาลีมีโปรตีนชนิดใหม่เกิดขึ้นในระหว่างที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ รูปแบบของโปรตีนที่อยู่ในคัพภะของสายพันธุ์ฤดูหนาว จะคล้ายกับสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิ ภายหลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำอย่างเพียงพอแล้ว โปรตีนชนิดใหม่จะเกิดขึ้นได้เมื่อคัพภะที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเจริญอยู่บนอาหารที่มีซูโครสอยู่ด้วย ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่า ซูโครสเป็นสารที่จำเป็นสำหรับที่คัพภะซึ่งแยกออกมาจะเกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้

การเกิดผลของอุณหภูมิต่ำจะยับยั้งได้ด้วย azaguanine แต่ bromo-uracilจะไม่ยับยั้ง เมื่อคัพภะเหล่านี้ได้รับอุณหภูมิต่ำและมีสารยับยั้งดังกล่าว โปรตีนชนิดใหม่จะสร้างขึ้นก็ต่อเมื่อเกิดผลของอุณหภูมิต่ำแล้วเท่านั้น การเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกรดอะมิโน (amino acid) เกิดขึ้นในระหว่างที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำของข้าวสาลีสายพันธุ์ฤดูหนาวก็มีรายงานเช่นกัน และจากการศึกษาสามารถยับยั้งการกำเนิดดอกได้ใน Streptocarpus wendlandii ซึ่งต้องการอุณหภูมิต่ำโดยการใช้สารที่คล้ายกับ 2-TU ซึ่งเป็นสารยับยั้ง (โดยจะเข้าไปรวมกับ RNA และรวมกับ ethionine ซึ่งจะมีการรวมของโปรตีนภายในใบของพืช) จึงสรุปว่า ผลของอุณหภูมิต่ำ สามารถชักนำให้ Streptocarpus wendlandii ออกดอกได้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ messenger RNA ในเนื้อเยื่อของใบ ซึ่งสภาพเช่นนี้ก็เป็นที่ทราบกันคือ จะเกิดขึ้นภายหลังจากเกิดผลของอุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยังไม่อาจแสดงให้เห็นได้ว่า สารยับยั้งมีผลโดยตรงต่อขบวนการที่เกิดผลจากอุณหภูมิต่ำ

มีรายงานในข้าวสาลีสายพันธุ์ฤดูหนาวพบว่า รูปแบบของ histone จะซับซ้อนกว่าข้าวสาลีสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิ และในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ รูปแบบของ histone นี้จะลดความซับซ้อนลง ในที่สุดก็จะเป็นรูปแบบอย่างง่ายที่พบในข้าวสาลีสายพันธุ์ฤดูใบไม้ผลิ จึงมีข้อเสนอว่า histone เป็นตัวข่มข้อมูลทางพันธุกรรมในข้าวสาลีสายพันธุ์ฤดูหนาวที่ยังไม่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ(Vince - Prue, 1975)

จากการทดลองโดยให้สาร 5-fluorouracil (ซึ่งคาดว่าจะไม่ทำให้เกิดการสังเคราะห์ RNA และ DNA)ไปที่ใบหรือจุดเจริญของ<u>Xanthium</u> sp. พบว่า ไม่ทำให้ออกดอก และผลของสารนี้จะมีมากขึ้นเมื่อให้สารนี้ก่อนที่พืชจะได้รับความมืด (Leopold, 1964)

1.10 ชีวเคมีของผลจากอุณหภูมิต่ำ

ในระหว่างที่ต้นพืชได้รับอุณหภูมิต่ำนั้น พืชจะเกิดผลของอุณหภูมิต่ำ แต่ก็ไม่อาจทราบถึงเหตุและผลของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น มีข้อน่าสนใจ คือ แม้ว่าจะต่างจากขบวนการภายในพืชอื่นก็คือผลของอุณหภูมิต่ำจะเกิดได้ดีในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำดูคล้ายกับว่าไม่มีการสร้างสารยับยั้งในระหว่างที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำ เพราะการแสดงให้เห็นว่าในการที่จะทำให้เกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้สมบูรณ์นั้นจะต้องมีคาร์โบไฮเดรตและออกซิเจนอยู่ด้วย ธัญพืชฤดูหนาวที่แยกเอาเฉพาะคัพภะออกมา หรือคัพภะแรดิชที่เด็ดใบเลี้ยงออกทิ้ง และปลายยอดของแครอทที่เด็ดออกมาเหล่านี้ต้องการน้ำตาลจากภายนอกในช่วงแรกของการได้รับอุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อเมล็ดธัญพืชทั้งเมล็ดได้รับอุณหภูมิต่ำจะเกิดผลตั้งแต่เริ่มได้รับอุณหภูมิ ส่วนคัพภะที่แยกออกมานั้นการได้รับอุณหภูมิต่ำในช่วง 2 ถึง 3 สัปดาห์แรกจะยังไม่เกิดผล ช่วงที่ไม่เกิดผลนี้อาจลดลงได้ ถ้าให้คัพภะติดอยู่กับเมล็ดในช่วง 1 ถึง 2 วันแรกของการได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รับอุณหภูมิต่ำ ซึ่งดูคล้ายกับว่าสารอาหารที่ได้จาก endosperm หรือเนื้อเยื่อที่สะสมอาหารอื่นนั้น จำเป็นสำหรับการเกิดผลจากอุณหภูมิต่ำอย่างมีประสิทธิภาพ ได้มีการแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นของออกซิเจนที่มีต่อธัญพืชและแรชดิช แสดงว่าการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำต้องการออกซิเจนและคาร์โบไฮเดรต เพื่อใช้ผลิตปัจจัยที่สำคัญและจำเป็นต่อการออกดอกยิ่งกว่าเป็นเพราะไม่มีการผลิตสารยับยั้งที่อุณหภูมิต่ำ

มีการวางแผนการคำนวณโดยมีสมมุติฐานว่า การออกดอกจะขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างสารยับยั้งและสารกระตุ้น คือ ถ้า Q_{10} ของการผลิตสารยับยั้งมีมากกว่าการผลิตสารกระตุ้น จะได้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการออกดอก อย่างไรก็ตามก็ยังไม่มีการค้นพบสารกระตุ้นดังกล่าว ถึงแม้ว่าการผลิตจิบเบอเรลลินอาจจะเกิดร่วมกับขบวนการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำ (Vince - Prue, 1975)

1.11 การลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำ

ผลจากการชักนำด้วยอุณหภูมิต่ำอาจลบล้างได้ด้วยการให้อุณหภูมิสูงตามมาทันที ในข้าวไรย์การได้รับอุณหภูมิต่ำเพียงช่วงสั้น ๆ จะสามารถลบล้างได้ด้วยอุณหภูมิสูง แต่ผลของอุณหภูมิต่ำจะคงทนต่ออุณหภูมิสูงได้เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่อยู่ในอุณหภูมิต่ำและถ้าอยู่ในอุณหภูมิต่ำนานถึง 8 สัปดาห์แล้ว อุณหภูมิสูง (35°ซ) จะไม่มีผลในการลบล้างแต่อย่างใด การลบล้างของอุณหภูมิสูงจะลดลงประมาณครึ่งหนึ่งต่อการได้รับอุณหภูมิต่ำเพิ่มขึ้น 1 สัปดาห์ซึ่งแรชดิชก็เป็นไปในทำนองนี้ โดยเฉพาะเมื่อให้เมล็ดแรดิชที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำเพียงบางส่วน จะสูญเสียผลของอุณหภูมิต่ำได้ที่อุณหภูมิ 30°ซ แต่หากผลของอุณหภูมิต่ำเกิดอย่างสมบูรณ์แล้วก็จะไม่เกิดการลบล้างเลย

อุณหภูมิระหว่าง 12 ถึง 15°ซ. เป็นช่วงอุณหภูมิที่สูงเกินกว่าที่จะเกิดผลของอุณหภูมิต่ำได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ไม่สูงพอที่จะเกิดการลบล้างได้ ที่อุณหภูมิระดับนี้บางท่านเรียกกันว่าอุณหภูมิที่เป็นกลาง การให้เมล็ดข้าวไรย์หรือต้นอ่อนของ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เฮนเบนที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำเพียงบางส่วนมาอยู่ในอุณหภูมิที่เป็นกลาง(12 ถึง 15°ซ.)เป็นเวลาสองถึงสามวัน ก่อนที่จะให้ได้รับอุณหภูมิสูง ทำให้ผลของอุณหภูมิต่ำคงตัวอยู่ต่อไปได้ อย่างไรก็ตาม Arabidopsis sp.ที่ได้รับอุณหภูมิต่ำในที่มืดจะไม่เกิดการคงตัวของผลจากอุณหภูมิต่ำไม่ว่าจะได้รับอุณหภูมิต่ำติดต่อกันนานเท่าไรก็ตาม(นานถึง 72 วันอุณหภูมิ 2°ซ.) เพราะการได้รับอุณหภูมิสูง 30°ซ.เป็นเวลาเพียง 5 วันสามารถลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำได้หมดสิ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับใน Lunaria annua อุณหภูมิสูงไม่สามารถลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำได้

สำหรับปฏิสัมพันธ์กับแสง ซึ่งบางครั้งรวมถึงความยาววันด้วย พบว่าพืชในสกุล Beta นั้นผลของอุณหภูมิต่ำจะไม่เสถียร จะเห็นได้จากการนำต้นพืชที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำ แต่ยังไม่สมบูรณ์ถึงขั้นที่พร้อมที่จะออกดอกไปไว้ในวันสั้น พบว่าเกิดการลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำจนทำให้ต้นพืชกลับสู่สภาพพุ่มแจ้เหมือนเดิม และจะไม่มีต้นใดเลยที่จะยืดตัวออกอีก หลังจากที่นำไปไว้ในสภาพวันยาว(ซึ่งเป็นสภาพที่ควรจะออกดอก) ในการที่จะทำให้ต้นที่เป็นพุ่มแจ้นี้ยืดตัวและออกดอกอีก จะต้องทำให้เกิดผลของอุณหภูมิต่ำใหม่ แต่ต้นพืชจะไม่ไวต่ออุณหภูมิต่ำเหมือนเดิมการลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำโดยวันสั้นนี้ ยังศึกษาใน Oenothera biennis และ Cheiranthus allionii ซึ่งได้ผลเหมือนกับการศึกษาในเฮนเบนคือหลังจากที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำอย่างถาวรแล้วผลของอุณหภูมิต่ำจะยังคงอยู่ได้นานถึง 190 วันในสภาพวันสั้น และสามารถออกดอกได้ทันทีที่กลับมาอยู่ในสภาพวันยาว เบญจมาศ (Chrysanthemum morifolium)นั้น อุณหภูมิสูงจะลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาพที่แสงมีความเข้มต่ำ (200lx) เท่านั้น ส่วน Arabidopsis sp. การให้พืชอยู่ในแสงระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิสูงจะสามารถป้องกันการลบล้างผลของอุณหภูมิต่ำได้ ในข้าวไรย์สายพันธุ์ฤดูหนาวการให้ได้รับแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำมีผลคล้ายกับว่าจะทำให้เกิดผลของอุณหภูมิต่ำคงทนยิ่งขึ้น คือเมื่อให้เมล็ดได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลาน้อยกว่าที่เหมาะสม(ได้เพียง 9 สัปดาห์) แสงสีแดง(Red)จะเร่งให้ออกดอก แต่ถ้าได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลายาวนานกว่านี้ แสงสีแดงก็จะไม่มีผลอะไร และแสงถัดจากแสงสีแดง(Far-red)จะมีผลน้อยกว่าแสงสีแดงแม้ว่าขณะที่ ได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลาช่วงสั้นจะมีผลในการเสริมให้ออกดอกก็ตาม (Vince - Prue, 1975)

การศึกษากับเมล็ดมาสตาด (Sinapsis alba) เมล็ดที่เปลือกหุ้มเมล็ดแตกในระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ สามารถทำให้สูญเสียผลของอุณหภูมิต่ำได้โดยการทำให้เมล็ดแห้ง ส่วนเมล็ดที่เกิดผลของอุณหภูมิต่ำแล้วและยังมีเปลือกหุ้มเมล็ดสมบูรณ์อยู่นั้นพบว่าการนำเมล็ดมาไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 6 ปี ก็ยังไม่มีการสูญเสียผลของอุณหภูมิต่ำอย่างสังเกตเห็นได้(Bleasdale, 1973)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. สรีรวิทยาการออกดอกของหอมหัวใหญ่

2.1 คำนำ

หอมหัวใหญ่ (Allium cepa L.) จัดเป็นพืชในตระกูล Amaryllidaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในบริเวณตอนกลางทวีปเอเชียหรือทางตะวันตกของทวีปเอเชีย จากนั้นก็แพร่กระจายในประเทศแถบทะเลเมดิเตอเรเนียน (Tindall, 1968)ผ่านอิยิปต์และตุรกี สำหรับประเทศอิยิปต์มีประวัติบันทึกการบริโภคหอมหัวใหญ่ ตั้งแต่ 3200 - 2780 ปีก่อนคริสต์กาล (Jones and Mann, 1963) นอกจากนี้ในคัมภีร์ไบเบิลก็ได้ระบุถึงการบริโภคหอมหัวใหญ่ไว้เช่นกัน (Splittstoesser, 1979) หลังจากที่หอมหัวใหญ่แพร่กระจายเข้าไปในประเทศยุโรปแล้ว ได้มีการคัดเลือกจนเกิดหอมหัวใหญ่ขึ้นมาสองชนิดในช่วงยุคกลางของยุโรป ชนิดแรกเกิดขึ้นบริเวณประเทศสเปนเป็นชนิดที่รสไม่จัด ชนิดที่สองเป็นชนิดรสจัดนั้นเกิดขึ้นทางตะวันออกและตะวันตกของยุโรป(Shinohara, 1977)

การปลูกหอมหัวใหญ่และการพัฒนาพันธุ์ขยายตัวอย่างรวดเร็ว ในสองศตวรรษหลังนี้ หลังจากที่มีการนำไปปลูกในทวีปอเมริกา ในช่วงแรกมีการนำเอาหอมหัวใหญ่ชนิดรสจัดเข้าไป ปลูกทางตอนเหนือของสหรัฐอเมริกาโดยปลูกในช่วงฤดูใบไม้ผลิจนถึงฤดูร้อน ส่วนชนิดรสไม่จัดถูกนำเข้าไปปลูกในระยะหลังทางบริเวณตอนใต้ของสหรัฐอเมริกาโดยปลูกในช่วงฤดูใบไม้ร่วงจนถึงต้นฤดูร้อน คือปลูกข้ามฤดูหนาว (Shinohara, 1977) นอกจากจะมีการแพร่กระจายไปยังทวีปอเมริกาแล้ว ก็ยังมีการแพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของโลกด้วยเช่นบริเวณเอเชียตะวันตกเฉียงใต้ อินเดีย สาธารณรัฐประชาชนจีน ทางตอนกลางตะวันตกและตะวันออกของแอฟริกาและบริเวณเขตร้อนโดยทั่วไป (Tindall, 1968)

จำนวนโครโมโซมพื้นฐานของหอมหัวใหญ่ (basic number) n = 8 และ 2n = 16 ซึ่งเท่ากับของกระเทียม (Allium sativum) (Jones and Mann, 1963 ; Grubben, 1977) ได้มีการทดลองผสมหอมหัวใหญ่ พบว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หอมหัวใหญ่สามารถผสมได้กับหอมญี่ปุ่น(Allium fistulosum) ซึ่งมีจำนวนโครโมโซมเท่ากันแต่ลูกผสมเป็นหมัน โดยต้องใช้สารโคชิซิน (Colchicine) ทำให้ลูกผสมที่เป็นดิพลอยด์(diploid ; 2n) ซึ่งเป็นหมันให้เปลี่ยนเป็นแอมฟิดิพลอยด์ (amphidiploid) เพื่อทำให้ลูกผสมแข็งแรงและไม่เป็นหมันสามารถผสมกับพืชได้อีกต่อไป (Jones and Mann, 1963)

พืชที่อยู่ในสกุล (Genus) Allium ซึ่งเป็นสกุลเดียวกับหอมหัวใหญ่ที่สำคัญ มีดังนี้

1.	หอมหัวใหญ่ (Onion)	Allium cepa L.
2.	กระเทียม (Garlic)	Allium sativum L.
3.	กระเทียมต้น (Leek)	Allium ampeloprasum L. (Jones and Mann, 1963) หรือ Allium porrum (Hawthorn and Pollard,1954)
4.	หอมต้นหรือหอมญี่ปุ่น (Japanese bunching หรือ Welsh onion)	Allium fistulosum L.
5.	กุ่ยฉ่ายจีน (Chinese chives)	Allium tuberosum Rottler ex Sprengel.
6.	Rakkyo	Allium chinense G. Don.
7.	หอมแดง (Shallot)	Allium ascalonicum L.
8.	หอมแบ่ง (Multiplier onion)	Allium cepa var. aggregatum (Jones and Mann, 1963)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทั่วไปแล้ว หอมหัวใหญ่ต้องการสภาพวันที่ยาวกว่าความยาววันวิกฤตจึงจะลงหัวได้ หอมแต่ละพันธุ์ต้องการความยาววันไม่เท่ากัน สามารถแบ่งพันธุ์หอมตามความต้องการช่วงแสงที่น้อยที่สุด(minimum photoperiod)สำหรับลงหัวได้ตามลักษณะของพันธุ์ที่มีอยู่ในสหรัฐอเมริกาและในญี่ปุ่นได้ดังนี้

ก. การจำแนกพันธุ์หอมหัวใหญ่ของสหรัฐอเมริกา

1. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสง 12 ชั่วโมง ได้แก่ Yellow Bermuda (Excel) Crystal Wax Early Grano (Texas) Red Creole และ White Creole เป็นพันธุ์ที่เจริญได้ดีในเขตกึ่งเมืองร้อน นิยมปลูกทางใต้ของรัฐเท็กซัส และแคลิฟอร์เนีย เป็นพันธุ์เบาที่สุดที่ปลูกข้ามฤดูหนาว

2. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสง 13 ชั่วโมง ได้แก่ Crystal Grano California Early Red California Hybrid Red (F_1)และ San Joaquin เป็นพันธุ์เบาปานกลาง นิยมปลูกทางเหนือของรัฐเท็กซัสและตอนกลางของรัฐแคลิฟอร์เนีย ปลูกข้ามฤดูหนาวและเก็บเกี่ยวต้นฤดูร้อน

3. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสง 13.5 ถึง 14 ชั่วโมง ได้แก่ Sweet Spanish Early Yellow Globe (Danvers) Mountain Danvers Australian Brown Yellow Southport Yellow Flat Dutch และ Yellow Globe Danvers. เป็นพันธุ์ที่ปรับตัวให้เข้ากับสภาพทางเหนือของสหรัฐอเมริกาเช่นรัฐนิวยอร์ค รัฐอิลินอย รัฐโคโลลาโดและรัฐแคลิฟอร์เนียตอนเหนือ เพาะเมล็ดในฤดูใบไม้ผลิและเก็บเกี่ยวในเดือนกันยายน

ข. การจำแนกพันธุ์หอมหัวใหญ่ของประเทศญี่ปุ่น

1. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสงน้อยกว่า 12 ชั่วโมงได้แก่ Aichi Shiro Aichi Ki-wase (ลูกผสมของพันธุ์ Senshu และ Aichi Shiro) และ Express White เป็นพันธุ์กึ่งเขตร้อนนิยมปลูกตามชายฝั่งที่มีอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค่อนข้างอบอุ่นของเมืองโตไก เพาะเมล็ดกลางเดือนกันยายนและเก็บเกี่ยวต้นเดือนเมษายน

2. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสงประมาณ 12 ชั่วโมงได้แก่ Kaizuka - Wase (เป็นสายพันธุ์เบาของพันธุ์ Early Flat Danvers) และ Imai Wase (เป็นสายพันธุ์หนักของพันธุ์ Senshu Ki) นิยมปลูกทางแถบอบอุ่นของเกาะฮอนชู เพาะเมล็ดปลายเดือนกันยายน และเก็บเกี่ยวตั้งแต่ต้นเดือนพฤษภาคม

3. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสงประมาณ 13 ชั่วโมงได้แก่ Senshu Ki (Yellow Flat Danvers และ Senshu Kodaka (เป็นพันธุ์ที่เก็บรักษาได้ดีของพันธุ์ Senshu Ki) นิยมปลูกทางตอนกลาง และตะวันตกของเกาะฮอนชูเพาะเมล็ดปลายเดือนกันยายนและเก็บเกี่ยวตั้งแต่ปลายเดือนพฤษภาคม ถึงต้นเดือนมิถุนายน

4. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสงมากกว่า 13 ชั่วโมง ได้แก่ Yamaguchi Maru (เป็นสายพันธุ์ที่ไม่ออกดอกของพันธุ์ Yellow Globe Danvers) นิยมปลูกกันทั่วไปในเกาะฮอนชู เพาะเมล็ดปลายเดือนกันยายน เก็บเกี่ยวปลายเดือนมิถุนายน เพื่อเก็บรักษาสำหรับใช้ในฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วง

5. พันธุ์ที่ต้องการความยาวช่วงแสง 14.5 ชั่วโมง ได้แก่ Sapporo Ki(Yellow Globe Danvers)นิยมปลูกในเกาะฮอกไกโดเพาะเมล็ดในเดือนเมษายน และเก็บเกี่ยวต้นเดือนกันยายน เพื่อเก็บรักษาสำหรับใช้ในฤดูหนาว (Shinohara, 1977)

สำหรับพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือพันธุ์กราเน็กซ์ (Granex) มีทั้งพันธุ์ Yellow Granex และ White Granex ซึ่งจะมีทั้งชนิดหัวกลมและหัวแบน มีการลงหัวเร็ว และแก่สม่ำเสมอ หัวมีขนาดใหญ่และคอเล็ก มีอายุ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การเก็บรักษาได้นาน

พันธุ์เดสเซก (Dessex) นิยมปลูกกันมากในภาคเหนือ ลงหัวเร็ว และสุกแก่สม่ำเสมอ หัวมีขนาดปานกลาง มีอายุการเก็บรักษานาน

นอกจากนี้ก็มีพันธุ์ Red Globe Red Creole Yellow Bermuda (Excel) Early Grano ซึ่งให้ผลผลิตดีพอสมควร หัวมีขนาดปานกลาง หัวจะสุกแก่ช้ากว่าทั้งสองพันธุ์ข้างต้น (เมืองทอง, 2525 ; สำนักงานการค้าภายในเขต 5, 2529)

หอมหัวใหญ่จะไม่ลงหัว จนกว่าความยาววันจะยาวตามที่ต้องการของพันธุ์นั้น ๆ พันธุ์ที่ต้องการวันสั้นไม่เพียงแต่จะถือว่าเป็นพันธุ์เบาเท่านั้น แต่ถ้าเพาะเมล็ดในฤดูใบไม้ผลิซึ่งความยาววิกฤตที่ต้องการแล้วจะลงหัวตั้งแต่ต้นยังเล็ก ทำให้ได้หัวขนาดเล็ก สภาพเช่นนี้มักรุนแรงในสภาพอุณหภูมิสูง

2.2 **ส่วนประกอบทางเคมีภายในหัว**

หัวของหอมหัวใหญ่นั้นเมื่อคิดเป็นน้ำหนักแห้งแล้ว ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต นอกจากนี้ก็มีโปรตีน 1.4 % และไขมัน 0.2 %

ในหัวสด 100 กรัมจะมีวิตามินเอ 50 หน่วยสากล (international units) ไทอะมิน 0.03 กรัม ไรโบฟลาวิน 0.04 มิลลิกรัม ไนอะซิน 0.02 มิลลิกรัมและกรดแอสโคบิก 9.0 มิลลิกรัม

ลักษณะเฉพาะของพืชที่อยู่ในสกุล Allium ก็คือ มีกลิ่นของสารประเภทอัลลิซิน (allicin) ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ สารนี้ทำให้หัวหอมมีกลิ่นเฉพาะเมื่อใช้ประกอบเป็นอาหาร นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในทางยาอีกด้วย การที่สารสกัดจากหอมและกระเทียมมีคุณสมบัติในการทำลายบักเตรีก็เพราะเป็นสารอินทรีย์ที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในหัวกระเทียมที่เป็นปกติคือ หัวที่ไม่มีแผล จะไม่มีกลิ่นของสารอัลลิซิน เพราะสารอัลลิซินจะเกิดจากหัวกระเทียมที่มีแผลเท่านั้น ในหัวกระเทียมที่เป็นปกติ สารตั้งต้นที่ให้กลิ่นจะอยู่ในรูปของสารอัลลิอิน (alliin) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ละลายน้ำได้ ปกติเป็นสารที่ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น แต่เมื่อเซลได้รับบาดแผลจะทำให้เอนไซม์อัลลิเนส (allinase) มาสัมผัสกับสารอัลลิอิน สลายตัวให้สารอัลลิซิน สารนี้ไม่เสถียรจะสลายตัวให้สารน้ำมันที่มีกลิ่นฉุนของกระเทียม

น้ำมันกระเทียมเตรียมโดยการกลั่นกระเทียมที่บดแล้วด้วยไอน้ำ น้ำมันที่เตรียมได้นี้มีกลิ่นฉุนจัดเพราะประกอบด้วยสารไดอัลลิล ไดซัลไฟด์ (diallyl disulphide)เป็นส่วนใหญ่ และมีสารประกอบซัลไฟด์อื่นเพียงเล็กน้อย กลิ่นของน้ำมันนี้ต่างจากกลิ่นของกระเทียมสดที่ได้รับบาดแผล ซึ่งเป็นกลิ่นของอัลลิซิน ทั้งกลิ่นของน้ำมันและกลิ่นของกระเทียมสดที่ได้รับบาดแผลแล้วนี้ ปกติจะไม่พบในกระเทียมยังที่ไม่ได้รับบาดแผล

ในการผลิตกระเทียมผง ถ้าแช่แข็งกลีบกระเทียมอย่างรวดเร็วจะทำให้กิจกรรมของเอนไซม์ลดลง ทำให้สารอัลลิอินเกือบจะไม่เปลี่ยนเป็นอัลลิซิน เมื่อทำให้แห้งในสภาพแข็งแล้วนำไปบดเป็นผง ผงกระเทียมที่ได้จึงเกือบจะไม่มีกลิ่นเลยเพราะมีอัลลิซินเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อให้ผงกระเทียมดูดความชื้น เอ็นไซม์ก็จะเปลี่ยนอัลลิอินเป็นอัลลิซินทำให้มีกลิ่นเกิดขึ้นอีก แต่ถ้าทำแห้งด้วยความร้อนที่สูงมากจนทำให้เอนไซม์เสียไป รสและกลิ่นของกระเทียมแห้งที่ได้ก็จะมีคุณภาพลดลง

ในกระเทียมจะมีสารอัลลิอินแท้เป็นส่วนใหญ่ สารอัลลิอินนี้จะมีกลุ่มสารอัลลิล (allyl group) เป็นองค์ประกอบโดยมีสารอนุพันธ์ของอัลลิอินที่มีกลุ่มสารเม็ททิล (methyl) และโปรพิล (propyl) เป็นองค์ประกอบแต่เพียงเล็กน้อย ส่วนในหอมนั้นกลับไม่มีอัลลิอินแท้อยู่เลย จะมีแต่สารอนุพันธ์ของอัลลิอินที่มีกลุ่ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารเม็ททิลและโปรพิลเป็นองค์ประกอบ การที่มีสารแตกต่างกันจึงทำให้พืชทั้งสองชนิดมีรสและกลิ่นต่างกันด้วย และถ้ากลั่นเอาน้ำมันจะพบว่า น้ำมันกระเทียมจะมีสารประกอบอัลลิลเป็นส่วนใหญ่ ส่วนน้ำมันหอมจะมีสารประกอบเม็ททิลและโปรพิลเป็นส่วนใหญ่

สีแดงของหอมหัวใหญ่คือ แอนไทโอไซยานิน (anthyocyanins; glucosides of cyanidin) และสีเหลืองนั้นส่วนใหญ่เป็นฟลาโวนอล ควอซิติน (flavonol quercetin) สารที่ให้สีเหลืองคือ ควอซิติน (quercetin) ซึ่งเป็นสารฟลาโวนอล (flavonol) ชนิดหนึ่งที่อยู่ในพืชทั่วไป จากการศึกษาสารประกอบฟลาโวนอลและฟีนอล (phenol) ในหอมพบว่าหอมผิวสีน้ำตาลไม่ได้เกิดจากการที่มีสารฟลาโวนอลที่มีสีเหลืองอ่อนแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีสารที่คล้ายแทนนิน (tannin) เป็นองค์ประกอบอีกด้วย สารนี้เกิดจากการออกซิไดซ์กรดโปรโตแคทธีชูอิค (Protocatechuic acid) ที่ให้สีน้ำตาลเข้ม

สารควอซิตินนี้จะมีอยู่ 4 % ของผิวแห้งของหัวหอม และมีสารสไปราโอซิด (spiraeosid) ซึ่งเป็นสารไกลโคไซด์ (glycoside)ของควอซิตินอยู่ 1 % กรดโปรโตแคทธีชูอิคนี้แยกจากผิวแห้งของหอมได้ 0.45 % ส่วนสารประกอบฟีโนลิค (phenolic) ที่อยู่ในผิวแห้งจะมีอยู่ 0.01 % หรือน้อยกว่านี้เช่น ฟลอโรกลูซิน (phloroglucin) แคทธีโคล (catechol) เม็ททิลเอสเทอร์(methyl ester) ของกรดโปรโตแคทธีชูอิคและกรดฟลอโรกลูซินอลคาร์บ็อคซิลิค (phloroglucinol carboxylic acid)

จากการศึกษาพบว่าโรค smudge และ neck-rot นั้นมักจะเกิดกับหอมที่มีผิวสีขาวมากกว่าผิวที่มีสีอื่น ที่เป็นเช่นนี้เพราะมีสารประกอบฟีนอลิค (phenolic) ที่ละลายน้ำได้อยู่ 2 ชนิดคือ กรดโปรโตแคทธีชูอิคและแคธีโคลซึ่งอยู่ในผิวแห้งของหอมเป็นพิษต่อเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคนี้ สารทั้งสองเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เครื่องกำหนดความต้านทานของหอมที่ผิวมีสี ส่วนหอมผิวสีขาวไม่มีสารดังกล่าว สารทั้งสองจะอยู่กับสารที่ให้สีของผิวเสมอ

สารประกอบฟีนอลิคนี้จะถูกออกซิไดซ์กลายเป็นเม็ดสี (pigment) สีน้ำตาลเมื่อผิวแห้ง เพราะฉะนั้นหัวหอมที่มีสารประกอบฟีนอลิคจึงไม่จัดว่าเป็นหอมสีขาว ส่วนกาบสดของหัวหอมที่มีสีจะไม่ต้านทานต่อโรคทั้งสองชนิด ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะสารพิษยังไม่แทรกซึมจากเซลที่มีชีวิตไปยังส่วนผิวของเนื้อเยื่อเหมือนกับตอนที่กาบหอมแห้ง และนอกจากนี้สารทั้งสองอาจถูกทำลายในขณะที่เชื้อราเข้าไปในเซลที่ยังมีชีวิตอยู่

นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อราบางชนิดก็เหมือนกับเชื้อบักเตรีอื่นๆ อีกหลายอย่างที่อ่อนแอต่อสารปฏิชีวนะทั้งที่ระเหยได้และระเหยไม่ได้ ซึ่งได้มาจากการบดเนื้อเยื่อสดของหอมและกระเทียม เชื้อที่ทำให้เกิดโรค smudge จะอ่อนแอต่อสารระเหยได้ของหอมในสภาพหลอดแก้ว และเชื้อนี้สามารถทำอันตรายกับกาบหอมสดได้

อย่างไรก็ตาม หอมพันธุ์ที่มีกลิ่นฉุนจะมีความต้านทานต่อโรคทั้งสองมากกว่าพันธุ์ที่มีกลิ่นไม่ฉุนแสดงว่าสารที่ระเหยได้นี้ หรือสารที่เป็นต้นกำเนิดของสารที่ระเหยได้นี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับความต้านทานโรค แต่เนื่องจากสารที่ระเหยได้ที่เป็นสารปฏิชีวนะนี้จะมีการสร้างขึ้นจะสร้างในเนื้อเยื่อที่ถูกบด ดังนั้นจึงไม่มีสารนี้เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อปกติและเป็นการยากที่จะเข้าใจถึงความต้านทานโรคในแง่นี้ เมื่อเทียบกับกรดโปรโตแคทธีชูอิคและแคธีโคล

ต่อมามีการศึกษาใช้น้ำสกัดจากกระเทียมแห้งฉีดพ่น (spray) หรือพ่นเป็นผง (dusting) พบว่าสามารถควบคุมโรคราน้ำค้าง (downy mildew) cucumber scab และ angular leaf-spot ในต้นอ่อนของแตงกวาได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ในต้นถั่วนั้นสามารถป้องกันโรค anthracnose bacterial blight และในผลท้อ บ๊วย และอัลมอนด์(almond)สามารถป้องกันโรค

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

brown rot ได้ (Jones and Mann, 1963)

2.3 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

1. ราก

รากของหอมหัวใหญ่จะเจริญมาจากลำต้นใต้ดินที่เรียกว่าแผ่นของลำต้น (Stem plate)หรือลำต้นที่หดสั้น (Crown Stem)ซึ่งรากจะเจริญออกตลอดช่วงเวลาที่มีการเจริญของต้น (Hawthorn and Pollard, 1954 ; Jones and Mann, 1963 ; Shinohara 1977 ; Tindall, 1968) โดยจะเป็นระบบรากฝอย (fibrous root) (Tindall, 1968)มักจะอยู่ตื้น ๆ มีรายงานว่าเมื่อรากเจริญเต็มที่จะอยู่ลึก 15 ถึง 20 เซนติเมตร (Shinohara, 1977; Ware, 1959) การเจริญทางด้านข้างรากจะเจริญไปไม่มากกว่า 30 ถึง 40 เซนติเมตร (Hawthorn and Pollard, 1954 ; Jones and Mann, 1963) มีรายงานพบว่าต้นหนึ่งจะมีจำนวนรากตั้งแต่ 20 ถึง 200 ขนาดของรากตั้งแต่ 0.5 ถึง 2.0 มิลลิเมตร (Jones and Mann, 1963)

2. ลำต้น

ลำต้นของหอมหัวใหญ่มีลักษณะแบนราบ โดยลำต้นส่วนล่างจะพองออกเกิดเป็นหัวขนาดใหญ่ล้อมรอบด้วยส่วนโคนใบ ซึ่งโคนใบจะประกอบด้วยอาหารสะสมและน้ำมัน (กรองทอง, 2525 ; Tindall, 1968) ลำต้นจะเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิ 13 ถึง 24°ซ(55 - 75°ฟ)(Grubben,1977 ; Ware,1959)

3. ใบ

ใบจะเจริญมาจากลำต้นที่หดสั้น(crown stem) โดยโคนของแผ่นใบจะติดอยู่กับลำต้น และติดอยู่โดยรอบ ใบที่แก่จะอยู่ข้างนอกหุ้มใบอ่อนไว้ข้างใน กาบใบซึ่งมีลักษณะหนา ของใบแก่จะหุ้มใบอ่อนไว้ข้างในเช่นกันและหุ้ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หนาขึ้นจนกลายเป็นหัว (bulb) แผ่นใบมีลักษณะกลวง พื้นที่หน้าตัดมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลม(Semicircular) (Hawthorn and Pollard, 1954 ; Shinohara, 1977 ; Tindall, 1968) หรือลักษณะเป็นรูปไข่ (Oval) จนถึงวงกลม (circular)

ในปีที่สองตรงปลายจุดเจริญของลำต้นที่หดสั้นนี้จะยืดออกมาเป็นก้านช่อดอก ก้านช่อดอกนี้ไม่มีกิ่ง ไม่มีใบ และไม่มีข้อหมายความว่าใบและช่อดอกจะแยกออกจากกันอย่างเด็ดขาดเมื่อเกิดช่อดอกแล้วจะไม่มีการสร้างใบใหม่อีกเลย ดังนั้นในการผลิตเมล็ดพันธุ์ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องรักษาใบไม่ให้เป็นโรคหรือเป็นอันตรายได้ ในช่วงที่เกิดช่อดอกนี้ อาจมีการแตกหน่อใหม่ได้ โดยหัวหอมที่เกิดช่อดอกนี้อาจมีรอยแตกเพราะมีหน่อเจริญจากง่ามใบ (Shinohara, 1977)

4. ดอก และการถ่ายละอองเกสร

ดอกหอมหัวใหญ่จะมีกลีบดอก 6 อัน มีเกสรตัวผู้ 6 อัน และเกสรตัวเมีย 1 อัน กลีบดอกจะมี 2 ชั้น คือชั้นนอกและชั้นในจำนวนเท่ากัน

เกสรตัวเมียจะมีรังไข่ 3 ช่อง แต่ละช่องจะมีไข่ 2 ใบ ก้านชูเกสรตัวเมียซึ่งยาว 1 มิลลิเมตร ตอนดอกเริ่มบานจะยังไม่รับการผสมจนกว่าจะยืดตัวออกได้ยาวประมาณ 5 มิลลิเมตร ซึ่งต้องใช้เวลาประมาณ 1 ถึง 2 วันหลังจากอับเกสรตัวผู้แตก

อับเกสรตัวผู้วงในจะแตกก่อน(dehisce)โดยจะแตกในช่วง 9 ถึง 17 น. ดอกในช่อดอกจะทยอยบานใช้เวลาบาน 2 ถึง 3 สัปดาห์เป็นอย่างน้อยและต้นพืชอาจมีดอกบานมากกว่า 30 วัน (Shinohara, 1977)

ในขณะที่อับเกสรตัวผู้แตกก่อนที่เกสรตัวเมียจะรับการผสม ทำให้เกสรตัวเมียต้องรับละอองเกสรตัวผู้จากดอกอื่น แสดงว่าดอกหอมต้องการผสมข้ามโดยต้องมีผึ้งหรือแมลงอื่นมาช่วย แม้ว่าจะเป็นพืชที่ต้องผสมข้ามก็อาจมีการผสมตัวเอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เกิดขึ้นได้เนื่องจากแมลงจะมาเกาะหลายดอกในช่อเดียวกันก่อนที่จะไปยังช่ออื่น

ช่อดอกของหอมหัวใหญ่จะมีลักษณะเป็นอัมเบลธรรมดา (Simple umbel) โดยเกิดตรงปลายของก้านดอก ซึ่งปกติแล้วก้านดอกจะมีลักษณะกลวงและกลม ตรงบริเวณใกล้กับโคนจะพองออกขึ้นอยู่กับพันธุ์ ขนาดและประวัติการเก็บรักษาของหัวพันธุ์ ตลอดจนช่วงเวลาที่ปลูก ปกติหอมแต่ละต้นจะมีช่อดอกตั้งแต่ 1 ถึง 20 ช่อ ช่อดอกมีความสูง 100 ถึง 130 เซนติเมตร ก่อนที่ช่อดอกจะบาน ดอกจะถูกหุ้มด้วยโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายกระดาษ (papery spathe) มี bract 2 ถึง 3 อัน ซึ่งจะแตกออกเนื่องจากมีแรงบังคับจากตาดอก

จำนวนดอกต่อช่ออาจมีตั้งแต่จำนวนเล็กน้อยไปจนถึงนับพันดอก เช่น อาจมีตั้งแต่ 50 ดอกจนถึง 2,000 ดอกเป็นอย่างสูง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ช่วงเวลาปลูก ขนาด และประวัติของหัวพันธุ์ (Hawthorn and Pollard, 1954 ; Jones and Mann, 1963 ; Roger, 1978 ; Shinohara, 1977) ถ้าดอกเกิดช้าเกินไปหรือมีช่อดอกมากเกินไปจะทำให้มีจำนวนดอกต่อช่อน้อย (Hawthorn and Pollard, 1954 ; Jones and Mann, 1963 ; Shinohara, 1977) และจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญของช่อดอก คือ 12.8° ซ. หรือ 55° ฟ. (Jones and Mann, 1963)

5. ผลและเมล็ด

ผลของหอมหัวใหญ่จะมี 3 พู แต่ละพูจะมีเมล็ดอยู่ 1 ถึง 2 เมล็ด เมื่อแก่จะมีสีดำ ส่วนใหญ่ของเมล็ดจะเป็นอาหารสะสม (endosperm) ส่วนคัพภะ (embryo) จะมีลักษณะเป็นแท่ง บิดเป็นเกลียว ซึ่งมีใบเลี้ยง (cotyledon) เป็นส่วนใหญ่และจะฝังตัวอยู่ในอาหารสะสม (Jones and Mann, 1963 ; Shinohara, 1977)

หอมหัวใหญ่เป็นพืชผักที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย มีคุณค่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ทางอาหาร และใช้เป็นส่วนประกอบของอาหารต่าง ๆ หลายชนิด มีการบริโภคภายในประเทศปีหนึ่ง ๆ มากกว่า 30,000 ตัน แหล่งเพาะปลูกหอมหัวใหญ่ที่สำคัญของประเทศอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีสัดส่วนผลผลิตรวมในประเทศประมาณ 80% และอีกแหล่งที่สำคัญอยู่ที่จังหวัดกาญจนบุรี ขณะนี้มีการขยายพื้นที่กระจายออกไปในบริเวณต่าง ๆ อีก เช่น บางจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ปลูกหอมหัวใหญ่กันมากในอำเภอฝาง เนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 5,700 ไร่ และอำเภอสันป่าตองประมาณ 3,200 ไร่ ส่วนจังหวัดกาญจนบุรีปลูกกันมากในอำเภอท่าม่วง เนื้อที่เพาะปลูกประมาณ 1,000 ไร่ อำเภอบ่อพลอยประมาณ 800 ไร่ และอำเภอเมืองประมาณ 450 ไร่ โดยที่ผลผลิตรวมและผลผลิตต่อไร่ของจังหวัดเชียงใหม่สูงกว่ากาญจนบุรี

ที่จังหวัดเชียงใหม่นั้น เกษตรกรทำการปลูกหอมหัวใหญ่ตั้งแต่เดือนตุลาคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยทำการเพาะปลูกมากที่สุดในเดือนมกราคมรองลงมาคือ เดือนธันวาคม คือปลูกประมาณ 56 % และ 37 % ของเนื้อที่ปลูกทั้งหมดตามลำดับ ส่วนการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเริ่ม ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน โดยได้รับผลผลิตมากที่สุดในเดือนเมษายน รองลงมาคือเดือนมีนาคม ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 3,800 กิโลกรัม

ที่จังหวัดกาญจนบุรี ทำการปลูกตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงเดือนมกราคม โดยทำการเพาะปลูกมากที่สุดในเดือนสิงหาคม รองลงมาคือเดือนกันยายน และกรกฎาคม คือประมาณ 43 % 24 % และ 19 % ของเนื้อที่ปลูกทั้งหมดตามลำดับ ส่วนการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะเริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน ถึงเดือนพฤษภาคม โดยได้รับผลผลิตมากที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ รองลงมาในเดือนมีนาคม และเดือนธันวาคม คือประมาณ 38 % 18 % และ 17 % ของปริมาณผลผลิตทั้งหมดตามลำดับ ผลผลิตต่อไร่ประมาณ 1,500 กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปัจจุบันการเพาะปลูกหอมหัวใหญ่ นิยมใช้เมล็ดพันธุ์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมาเพาะกล้าแล้วจึงนำกล้ามาปลูกอีกครั้งหนึ่ง เพราะสามารถประหยัดเมล็ดกว่าการปลูกจากเมล็ดโดยตรง ส่วนการปลูกจากหัวย่อยนั้นยังไม่เป็นที่นิยมของเกษตรกร(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2529) เมล็ดที่ใช้เพาะกล้าต่อพื้นที่ปลูก 1 ไร่ประมาณ 320 ถึง 400 กรัม (เมืองทอง, 2525)

2.4 ปัจจัยที่ควบคุมการสร้างหัวของหอมหัวใหญ่มีดังนี้

หอมหัวใหญ่เป็นพืชล้มลุกประเภทสองฤดู ฤดูแรกจะมีการเจริญทางลำต้น และเมื่อได้รับความยาววันที่เหมาะสมคือ ยาวกว่าความยาววันวิกฤตก็จะมีการกระตุ้นให้สร้างหัว ส่วนฤดูที่สองเมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะทำให้มีการหยุดสร้างตาใบและจะกำเนิดตาดอกขึ้น ซึ่งจะมีการออกดอกและติดเมล็ดต่อไป (เมืองทอง, 2525 ; Hawthorn and Pollard, 1954; Jones and Mann, 1963 ; Shinohara, 1977)

เมื่อเริ่มสร้างหัว ใบจะยืดยาวออกอย่างรวดเร็ว แล้วมีการขยายตัวของกาบใบ (leaf sheath) โดยเซลของกาบใบจะมีการขยายตัวมากกว่าการแบ่งตัวขณะที่มีการสร้างหัวนั้น การเจริญของแผ่นใบจะหยุดชงัก จะมีแต่การสร้างแผ่นกาบใบ ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาที่จุดปลายยอดที่อยู่ภายในหัว กาบใบเหล่านี้จะพองออกเพื่อเป็นเนื้อเยื่อที่สะสมอาหารอยู่ภายในหัว กาบใบด้านในจะหนากว่ากาบใบที่อยู่บริเวณด้านนอกเมื่อหัวแก่แล้วที่จุดปลายยอดที่อยู่ภายในหัวจะมีการกำเนิดใบขึ้น 2ถึง3 ใบ ใบที่กำเนิดแล้ว 2ถึง3 ใบนี้จะยืดยาวออกในฤดูถัดไปเมื่อหัวมีการงอก (Brewster, 1977 ; Jones and Mann, 1963)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ความยาวของวัน

ความยาววันมีบทบาทสำคัญต่อการปรับตัวของหอมหัวใหญ่พันธุ์ต่าง ๆ ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็นชนิดวันสั้นและชนิดวันยาว ทำให้พันธุ์ต่างๆ มีความเหมาะสมต่อเขตต่าง ๆ ของโลก (เมืองทอง , 2525) หอมหัวใหญ่เป็นพืชวันยาวจะเริ่มลงหัวเมื่อความยาววันยาวถึงจุดขั้นต่ำคือจุดวิกฤตที่ต้องการ (Grubben, 1977)ส่วนพันธุ์วันสั้นนั้นไม่ถือว่าเป็นพืชวันสั้น แต่หมายถึงพันธุ์ที่สามารถลงหัวในสภาพความยาววันที่สั้นกว่าพันธุ์อื่น อย่างไรก็ตามสภาพวันสั้นดังกล่าวนี้ก็ยังยาวกว่าความยาววิกฤตที่ต้องการ (Jones and Mann, 1963) แต่ถ้านำพันธุ์ที่มีความต้องการช่วงวันสั้นไปปลูกในเขตอบอุ่นที่มีความยาววันถึงวันละประมาณ 15 ถึง 16 ชั่วโมงซึ่งยาวกว่าความยาววิกฤตที่ต้องการจะทำให้มีการเจริญทางลำต้นเพียงเล็กน้อยแล้วต้นหอมจะรีบสร้างหัวทั้งๆ ที่ต้นยังมีขนาดเล็กอยู่ทำให้ได้หัวที่มีขนาดเล็ก ส่วนการนำพันธุ์ที่มีความต้องการวันยาวไปปลูกในเขตร้อนซึ่งมีความยาววันสั้นเพียงวันละประมาณ 12 ถึง 12.5 ชั่วโมงซึ่งยาวน้อยกว่าความยาววิกฤตที่ต้องการ ทำให้ไม่สามารถลงหัวได้จึงมีการเจริญทางลำต้นเท่านั้น (เมืองทอง , 2525)

จากศึกษาการตอบสนองต่อความยาววันของหอมหัวใหญ่พันธุ์ต่าง ๆ ทั้งที่มาจากยุโรปและอเมริกาพบว่าพันธุ์เหล่านี้แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในเรื่องความต้องการความยาววันขั้นต่ำสำหรับการลงหัวตลอดจนอัตราและความสม่ำเสมอในการลงหัวที่ความยาววันซึ่งมากกว่าความยาวขั้นต่ำที่สุด ที่แต่ละพันธุ์ต้องการความยาววันที่ต้องการสำหรับที่จะลงหัวได้ร้อยเปอร์เซนต์ จะยาวกว่าความยาววันที่จะให้หัวแก่ตามปกติได้เร็วที่สุดแสดงว่าพันธุ์ส่วนใหญ่ไม่ได้เป็นโฮโมไซกัส(homozygous) ในแง่การตอบสนองต่อความยาววัน (Jones and Mann , 1963)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าความยาววันยิ่งยาวขึ้นการเติบโตของใบก็ยิ่งหยุดชงักเร็วขึ้น มีผลทำให้หัวแก่เร็ว จากการทดลองพบว่าหอมที่เปลี่ยนจากสภาพการเจริญเติบโตทางลำต้นไปอยู่ในสภาพการลงหัวสามารถเปลี่ยนกลับได้โดยให้พืชกลับมาอยู่ในสภาพวันสั้น การเปลี่ยนนี้จะเปลี่ยนได้แม้ว่าต้นหอมจะอยู่ในสภาพคอพับ(ใบเริ่มเหลืองแห้งบริเวณโคนต้นจะอ่อนนุ่มและฟาม) และจากการทดลองกับต้นหอมหัวใหญ่ที่มีใบ 4 ใบ การให้ได้รับแสงตลอดเวลาเพียงใบเดียวก็เพียงพอที่จะทำให้ลงหัวได้โดยไม่มีผลจากใบที่เหลือซึ่งอยู่ในสภาพวันสั้นหรือถูกตัดออกทิ้ง (Brewster , 1977)

2. อุณหภูมิ

อุณหภูมิมีความสำคัญในการสร้างหัวของหอมหัวใหญ่ โดยหอมหัวใหญ่จะลงหัว ในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงได้รวดเร็วกว่าในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ (Jones and Mann, 1963) นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงพอ ยังจะมีผลในการกระตุ้นการสร้างหัวด้วย (Thompson , 1957) หอมหัวใหญ่พันธุ์ต่าง ๆ สามารถเจริญได้ดีถึงแม้ว่าอุณหภูมิจะสูงถึง 30° ซ. ก็ตาม (Grubben , 1977) อุณหภูมิน่าจะมีผลโดยตรงต่อการสร้างหัว และหากไม่มีการกำหนดอุณหภูมิเสียก่อนแล้วก็ไม่อาจจะกำหนดความยาวช่วงแสงขั้นต่ำเพื่อการลงหัวได้ (Jones and Mann , 1963)

ความยาววิกฤตของวันสำหรับการลงหัวจะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จากการทดลองปลูกหอมหัวใหญ่พันธุ์ Ebenzer ในสภาพแสงธรรมชาติแล้วให้แสงจากไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อให้มีวันยาวตามที่ต้องการโดยปลูกในเดือนธันวาคม และประเมินผลในเดือนมีนาคมปลูกในอุณหภูมิที่ต่างกัน 3 ระดับพบว่าพวกที่ปลูกในอุณหภูมิ 10 ถึง 15.5° ซ. ไม่มีการลงหัว พวกที่ปลูกในอุณหภูมิ 15.5 ถึง 22.7° ซ.จะให้หัวแก่และคอพับแต่ใบก็ยังเขียวอยู่ ส่วนพวกที่ปลูกในสภาพ 22.7 ถึง 26.6° ซ.จะให้หัวแก่ และยอดแห้ง สำหรับพวกที่ปลูกในสภาพวันสั้นที่อุณหภูมิต่างๆ ดังกล่าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พบว่าไม่มีการลงหัวแสดงว่าอุณหภูมิอย่างเดียวไม่มีผลต่อการลงหัว แต่อุณหภูมิจะมีปฏิสัมพันธ์กับช่วงแสงที่เป็นปัจจัยกำหนดการลงหัว และเป็นปัจจัยในการกำหนดการปรับตัวของพันธุ์ต่าง ๆ (Jones and Mann, 1963)

จากการศึกษาหอมหัวใหญ่พันธุ์ยุโรปตอนเหนือในสภาพควบคุมพบว่าการปลูกที่ 25 ถึง 30° ซ. จะทำให้หัวโตเร็วที่สุด และพื้นที่ใบเริ่มลดลงก่อนกลุ่มอื่นอันเป็นเครื่องชี้การแก่ของหอมหัวใหญ่ ส่วนพวกที่ปลูกในอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้เช่นที่ 20 15 และ 10° ซ. จะทำให้การเริ่มลงหัวและการเริ่มแก่ช้าลงตามลำดับ (Brewster, 1977 ; Jones and Mann, 1963)

3. ขนาดของต้น

ขนาดและอายุของต้นจะมีผลต่อการลงหัว และกำหนดการแก่ของหัวเมื่อปลูกจากหัวย่อยที่แห้งเปรียบเทียบกับ การปลูกจากต้นย้ายกล้ากับการปลูกจากเมล็ดโดยตรงพร้อมกันพบว่า ทั้งสามจะเริ่มลงหัวตามลำดับก่อนหลังตามขนาดของต้นที่ใช้ปลูก

ปัจจัยที่กระตุ้นให้ลงหัวอาจเป็น อายุ ขนาด หรืออาหารที่สะสมประกอบกับปัจจัยที่ไม่อาจระบุได้ร่วมกัน เมื่อปลูกหัวย่อยที่มีขนาดโตและเล็กพร้อมกัน ต้นที่ปลูกจากหัวย่อยขนาดใหญ่จะแก่ก่อน แสดงว่าอาหารสะสมที่มีอยู่ในต้นมีส่วนเกี่ยวข้องด้วย และจากการทดลองพบว่าต้นหอมจะเริ่มลงหัวก็ต่อเมื่อมีการเจริญทางลำต้นถึงระดับหนึ่งเท่านั้น จึงทำให้ขนาดของหัวมีขนาดที่น่าพอใจ (Jones and Mann, 1963)

จากการศึกษากับต้นหอม ที่ย้ายปลูกพบว่ากำหนดการแก่ของหัวจะช้าลงเมื่อใช้ระยะในแถวเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 12 นิ้ว แต่ถ้าใช้ระยะปลูกในแถวชิดกันอย่างในกรณีที่ผลิตหัวย่อย ต้นหอมจะเริ่มลงหัวเร็วขึ้นและแก่เร็วขึ้น 3 ถึง 4 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับพวกที่ปลูกห่างเพื่อผลิตหัวใหญ่หัวย่อยนี้อาจเกิดจากต้นที่มีขนาด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เล็กได้และขนาดของต้นไม่มีส่วนในการกำหนดการลงหัวถ้าหากความยาวแสง และอุณหภูมิเกินกว่าขีดกำหนดขั้นต่ำที่ต้องการ ในสภาพที่เหมาะแก่การลงหัวของหอมพันธุ์ Red Creole ต้นหอมจะสามารถลงหัวได้แม้ว่าจะมีเพียงใบจริงเพียงใบเดียวเพิ่มเติมจากใบเลี้ยงก็ตาม หัวที่ได้จะมีขนาดพอ ๆ กับเมล็ดถั่วชนิดกลม(garden pea)ซึ่งนี้จะแก่ตามปกติและมีระยะการพักตัวเหมือนกับหัวขนาดใหญ่ (Jones and Mann, 1963)

จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าต้นที่อ่อนมาก ๆ จะไม่ตอบสนองต่อการกระตุ้นให้ลงหัวได้เร็วเหมือนกับต้นขนาดใหญ่ และจากการศึกษาในเขตที่ลุ่มของประเทศโรดีเซีย (Rodesia) กับพันธุ์ที่ต้องการวันค่อนข้างสั้นสำหรับลงหัว พบว่าทั้งการเกิดและการแก่ของหัวในช่วงวันสั้นที่สุดและมีอากาศหนาวที่สุดนั้น สิ่งที่สำคัญในการกำหนดให้เริ่มลงหัวและการแก่ของหัวในที่ไม่หนาวจัดอย่างที่ลุ่ม คืออายุทางสรีรวิทยา

จึงดูคล้ายกับว่าภายในช่วงกำหนดความยาววันและอุณหภูมิระดับหนึ่งนั้น ขนาดของพืชจะมีผลต่อการเริ่มลงหัว แต่เมื่อพ้นช่วงกำหนดดังกล่าวแล้วต้นหอมก็จะลงหัวได้เอง ความสำคัญของปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ จากการทดลองพบว่า ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามฤดูกาลในเขตร้อนค่อนข้างจะสำคัญสำหรับการลงหัว ส่วนในเขตหนาวนั้นความยาววันเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด แต่อุณหภูมิก็มีความสำคัญที่ทำให้กำหนดเวลาตั้งแต่เริ่มลงหัวจนกระทั่งหัวแก่แตกต่างกันไปตามฤดูกาลและภายใต้สภาพอากาศต่างๆ ที่อยู่ในเขตละติจูดเดียวกัน นอกจากนี้ก็พบว่าพันธุ์หอมหัวใหญ่จะปรับตัวได้ดีในเขตที่มีอุณหภูมิ และความยาววันขั้นต่ำตรงตามความต้องการสำหรับการลงหัว ในสภาพดังกล่าวนี้การเติบโตของใบและการลงหัวจะยืดยาวออกไป และการที่มีผลผลิตสูงนั้น อาจอธิบายได้ในแง่ที่มีช่วงที่มีพื้นที่ใบมากเป็นเวลายาวนานในระหว่างที่กำลังลงหัว (Brewster, 1977)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ธาตุไนโตรเจน

เมื่อต้นหอมได้รับช่วงแสงยาวกว่าช่วงแสงวิกฤตก็จะลงหัวทันที แต่เมื่อได้รับช่วงแสงที่ใกล้กับจุดวิกฤตการลงหัวจะช้าลง และต้นหอมจะไวต่ออิทธิพลของสภาพแวดล้อมอื่น ที่ช่วงแสงที่ยาวกว่าความยาววิกฤตอย่างมาก ปุ๋ยไนโตรเจนจะไม่มีผลต่อการลงหัว แต่ถ้าปลูกในสภาพที่ใกล้กับความยาวแสงวิกฤต การขาดปุ๋ยไนโตรเจนจะมีผลเหมือนกับการเพิ่มความยาวช่วงแสงและการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนจะมีผลเหมือนกับการลดความยาวช่วงแสง ที่ความยาวแสงวิกฤตการขาดปุ๋ยไนโตรเจนจะทำให้ลงหัวเร็วขึ้น และการได้ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินควรจะทำให้ขบวนการลงหัวช้าลง ความยาวช่วงแสงวิกฤตในที่นี้หมายถึงความยาววันที่ยาวพอดีที่จะชักนำให้ลงหัว ที่ความยาววันวิกฤตนี้หากปัจจัยประเภทธาตุอาหารและอุณหภูมิเปลี่ยนไปก็จะมีผลต่อการลงหัวอย่างมาก (Jones and Mann, 1963)

มีรายงานว่าการให้ไนโตรเจนเพียงเล็กน้อย หรือมีสัดส่วนสูงระหว่างโปแตสเซียมต่อไนโตรเจนจะกระตุ้นการสร้างหัว นอกจากนี้ปริมาณของฟอสเฟตที่สูงจะเพิ่มการเจริญของหัว และยังทำให้หัวแก่เร็วด้วย (Brewster, 1977)

5. คุณภาพของแสง

มีรายงานแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มความยาววันด้วยแสงจากหลอดไฟเรืองแสงมีผลในการกระตุ้นให้ลงหัวได้ดีไม่เท่ากับการเพิ่มความยาววันด้วยแสงจากหลอดไฟกลมธรรมดา การเพิ่มช่วงแสงด้วยแสงถัดจากแสงแดง(far-red)หรือแสงน้ำเงิน(blue)จะทำให้ลงหัวเร็วขึ้น ส่วนแสงแดง(red)จะยับยั้งการลงหัว เช่นการให้ต้นหอมได้รับแสงแดงแทนที่จะให้ได้รับความมืดในช่วงกลางคืน จะสามารถป้องกันไม่ลงหัวได้แม้ว่าต้นหอมจะปลูกในช่วงเวลากลางวันที่ได้รับแสง ซึ่งปกติจะยาวพอที่จะลงหัวได้ ในที่มีแสงผสมระหว่างแสงแดงกับแสงถัดจากแสงแดง (red and far- red light)การลงหัวจะมากในแสงที่มีส่วนผสมของแสงถัดแสง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แดงมาก การทดลองนี้แสดงว่า การลงหัวเป็นผลจากการตอบสนองของไฟโตโครม (phytochrome) การที่แสงจากหลอดไฟกลมธรรมดามีผลต่อการลงหัวประกอบกับการที่หลอดไฟเรืองแสงต่างชนิดกันมีผลต่อการลงหัวต่างกัน อาจอธิบายได้ว่าเป็นเพราะมีความแตกต่างระหว่าง อัตราส่วนของแสงถัดแดงกับแสงแดงนั่นเอง (Brewster, 1977)

6. ความเข้มของแสง

จากการให้แสงที่มีองค์ประกอบเหมือนกันที่อุณหภูมิเดียวกันนั้น พบว่าแสงที่มีความเข้มที่สูงจะทำให้เกิดหัวได้เร็วอีกทั้งการแก่ของหัวก็เร็วด้วย จากการทดลองพบว่าการที่พื้นที่ใบลดลงจะเป็นเครื่องบอกถึงการแก่ของพืช พื้นที่ใบจะลดลงก่อนในพวกที่ปลูกในสภาพความเข้มของแสงที่สูง และจากการเพิ่มความยาวช่วงแสง พบว่า ถ้าแสงที่เพิ่มได้จากหลอดไฟกลมธรรมดาที่มีความเข้มแสงมากแล้วจะยิ่งมีการลงหัวเร็ว รวมทั้งหัวแก่เร็วขึ้นด้วย (Brewster, 1977)

7. ความสัมพันธ์ของน้ำ

จากการศึกษาที่รัฐคอนเนคติคัด (Connecticult) สหรัฐอเมริกา พบว่าผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการให้น้ำมากขึ้นและผลผลิตทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นทั้งในฤดูแล้งและฤดูฝน แต่การให้น้ำมากและบ่อยจะทำให้แก่ช้าลงถึง 20 วันเมื่อวัดจากการที่คอพับได้ 50 % นอกจากนี้การปลูกในดินเหนียวยังจะทำให้แก่ช้ากว่าในดินทรายอีกด้วย ซึ่งคงเนื่องจากดินทั้งสองมีน้ำต่างกันนั่นเอง การผลิตหอมหัวย่อยในอังกฤษนั้นนิยมวิธีปลูกชิดกันอย่างมากเมื่อต้นหอมมีขนาดตามต้องการแล้ว การงดการให้น้ำป้องกันไม่ให้โดนฝนเพราะการขาดน้ำจะทำให้การลงหัว และการแก่ของหัวเร็วขึ้น (Brewster, 1977)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

8. การตัดหรือแยกส่วนต่าง ๆ ของพืชออก

การตัดใบออกอย่างมากจะมีผลในการยับยั้งการสร้างหัว นอกจากนี้ยังพบว่าการตัดใบหรือการที่ใบได้รับความเสียหายในช่วงที่กำลังเริ่มลงหัวนั้น จะมีผลต่อผลผลิตอย่างรุนแรง แต่การตัดรากออกครั้งหนึ่งก่อนที่จะเริ่มมีการลงหัวจะทำให้มีการสร้างหัวดีขึ้น และการตัดรากในช่วงท้าย ๆ ของการสร้างหัวจะทำให้หัวแก่เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการตัดตายอดออกจะกระตุ้นให้มีการสร้างหัวในสภาพความยาววันซึ่งปกติจะไม่มีการสร้างหัว และการแยกใบและก้านใบ ออกจากต้นแล้วนำไปเก็บไว้ในสภาพความยาววัน ซึ่งปกติไม่สามารถลงหัวได้พบว่าส่วนของก้านใบจะพองออกมีลักษณะเหมือนกับการลงหัว(Brewster, 1977)

9. ผลของฮอร์โมนจากภายนอก

จากการทดลองพบว่าอีทีฟอน (ethephon) สามารถกระตุ้นให้ลงหัวภายใต้สภาพที่ไม่มีการชักนำให้ลงหัวได้ แต่ถ้าใช้ในอัตราที่สูงเกินไปจะทำให้การเจริญของใบช้าลงมีผลทำให้น้ำหนักแห้งของหัวลดลง เช่นการฉีดพ่นที่ใบด้วยethephon ในระดับ 500 ถึง 1,000 ส่วนต่อล้าน (สตล.) จะได้ผล แต่ที่ระดับสูงกว่านี้มากๆจะทำให้การเติบโตของแผ่นใบลดลงจนทำให้หัวมีขนาดเล็กลง การฉีดพ่นทางใบหรือฉีดอัด (injection) ลงดินด้วย ethephon จะให้ผลดีเท่า ๆ กัน แต่การจุ่มต้นกล้าในสารละลาย ethephon จะกระตุ้นการลงหัวในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่ามากนอกจากนี้ในสภาพที่ไม่มีการชักนำให้ลงหัวนั้นการฉีดพ่นมาลิอิคไฮดราไซด์ทางใบ(maleic hydrazide; MH) 500 สตล.สามารถชักนำให้ลงหัวได้ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะ MH ไปรบกวนตายอดก็ได้และการฉีดอัดสารละลาย MH เข้าทางใบของต้นหอมที่กำลังลงหัวด้วยสารที่มีความเข้มข้น 100 สตล.ปริมาณ 1 มิลลิลิตร (ml) จะทำให้ใบแก่เร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการที่ใบแก่เร็วขึ้นนี้สามารถป้องกันได้โดยใช้ IAA จิบเบอเรลิก แอซิด (GA_3) หรือไคเนติน(kinetin)เพียง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อย่างเดียว หรือถ้าจะให้ได้ผลดีขึ้นก็ใช้ร่วมสารดังกล่าวร่วมกันโดยผสมกับสารละลาย MH 100 สตล.

การฉีดอัตสารละลายกรดแอบซิสิก (Abscisic acid; ABA) 100 สตล. จะทำให้ใบแก่เร็วขึ้นด้วย และสามารถแก้ได้โดยการใช้สารกระตุ้นการเจริญเติบโตอื่นๆฉีดอัดเข้าพร้อมกัน โดยที่ไคเนตินเป็นสารกระตุ้นที่มีประสิทธิภาพในการลบล้างผลของ ABA ได้ดีที่สุด ทุกกรรมวิธีที่ทำให้ใบแก่เร็วขึ้นจะมีผลทำให้ขนาดของหัวเล็กลง

มีรายงานว่าการนำกาบใบที่แกะแยกออกมาเลี้ยงในสารละลาย10^{-4} โมลาร์(M.) ที่มีน้ำตาลซูโครสอยู่ด้วยจะสามารถทำให้กาบใบนั้นพองโตได้ การใช้ IAA ที่มีความเข้มข้นที่สูง หรือต่ำกว่านี้จะไม่มีผล ในทางตรงกันข้ามกลับมีรายงานมากมายแสดงว่าการฉีดพ่นออกซิน(auxin)สังเคราะห์ทางใบจะกระตุ้นการเจริญของแผ่นใบและมีผลในการชลอการลงหัวเช่น จากการทดลองพบว่าในสภาพช่วงวันที่เหมาะสมต่อการลงหัวนั้นการฉีดพ่นใบด้วย 2,4-D ความเข้มข้น 20 สตล.จะชลอการสร้างหัวได้ส่วนการฉีดพ่นด้วย NAA IAA และ IBA ที่มีความเข้มข้น 100 200 และ 300 สตล.นั้นจะมีผลในการเพิ่มจำนวนใบและน้ำหนักใบ มีผลทำให้หัวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ขึ้นและทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นด้วยโดย IAA 300 สตล. จะให้ผลดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการฉีดอัดใบของหอมที่กำลังลงหัวด้วย IAA 100 สตล.จะทำให้การแก่ของใบช้าลงเล็กน้อยโดยที่จีGA_3 และ kinetin จะมีประสิทธิภาพมากกว่า แต่ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือฉีดอัด IAA GA_3 และ kinetin ร่วมกัน กรรมวิธีทั้งหมดที่มีผลในการชลอการแก่ของใบจะทำให้หัวมีขนาดใหญ่ขึ้น การแช่ในสารละลาย auxin ที่มีความเข้มข้นสูง(10^{-5} ถึง 10^{-4} M) สำหรับผลทางสรีรวิทยา พบว่าจะกระตุ้นการผลิตเอทธีลีนให้เร็วขึ้นในเนื้อเยื่อของพืชต่างๆและการที่ IAA กระตุ้นให้กาบหอมพองโตอาจเป็นผลจากการชักนำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทางอ้อมของเอทธีลีนก็เป็นได้ (Brewster, 1977)

2.5 ปัจจัยที่ควบคุมการออกดอกของหอมหัวใหญ่

1. อุณหภูมิ

ได้มีการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกำเนิดช่อดอก และการแทงช่อดอกของหอมหัวใหญ่กันเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลของอุณหภูมิตอนเก็บรักษาหัวพันธุ์ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกดอกของหอมหัวใหญ่ในเวลาต่อมา ผลของอุณหภูมิตอนเก็บรักษาหัวพันธุ์นี้ จะมีผลถึงการกำเนิดดอกและการแทงช่อดอกที่ซับซ้อนมาก เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อขบวนการต่างๆหลายอย่างพร้อมกัน เช่น ขบวนการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำ (vernalization) (Brewster, 1977)

ปกติในการกำเนิดดอกของหอมหัวใหญ่นั้นต้องการอุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีรายงานว่าจะไม่มีการกำเนิดดอกเกิดขึ้นในอุณหภูมิที่สูงกว่า 17°ซ. นอกจากนี้ก็พบว่าอุณหภูมิที่ 9 ถึง 13°ซ. เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำเนิดดอกมากที่สุด โดยอุณหภูมิในช่วงดังกล่าว จะมีผลต่อการเกิดผลของอุณหภูมิต่ำโดยตรง หรืออาจเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิต่ำกับอัตราการพัฒนาของช่อดอก(Bleasdale, 1973 ; Brewster, 1977) จากการศึกษาพบว่าในการที่จะกระตุ้นให้เกิดตาดอกของหอมหัวใหญ่นั้นต้องใช้อุณหภูมิต่ำคือ 9°ซ. เป็นเวลานาน 30 ถึง 40 วัน (Brewster, 1983) โดยไม่เกี่ยวข้องกับความยาววันหรือช่วงแสง แต่จะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว (Ruhland, 1961) นอกจากนี้อุณหภูมิที่เก็บรักษาก็มีผลอย่างมากต่อการออกดอกของหอมหัวใหญ่ (Jones and Mann, 1963; Thompson,1957) อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเกิดช่อดอกในหอมหัวใหญ่ คือ 10 ถึง 15°ซ.และการแทงช่อดอกจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (30 °ซ.)(Ruhland, 1961)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการผลิตเมล็ดพันธุ์หอมหัวใหญ่ อุณหภูมิที่เหมาะสำหรับใช้ในการเก็บรักษาหัวพันธุ์ให้ออกดอกคือ 7.2ถึง12.8°ซ.(หรือ 45ถึง55°ฟ.)(Hawthorn and Pollard, 1954) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าอุณหภูมิ 4.5ถึง14°ซ.ก็ใช้ในการเก็บรักษาหัวพันธุ์เพื่อผลิตเมล็ด อีกทั้งระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำที่นานจะทำให้มีการสร้างดอกได้มากขึ้น แต่ถ้าเก็บรักษาหัวพันธุ์ในอุณหภูมิที่สูงจะมีผลในการชลอหรือยับยั้งการสร้างดอกลง (Jones and Mann, 1963) และอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะทำให้ได้ปริมาณเมล็ดพันธุ์ลดลง (Thompson, 1957) จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ 4 ถึง 15°ซ. จะมีผลในการกระตุ้นการออกดอกของหอมหัวใหญ่ (Naamni et al, 1980) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสร้างตาดอกเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์คือ5 ถึง 7°ซ. ส่วนที่ 0°ซ.นั้นอุณหภูมิจะต่ำเกินไปทำให้มีผลในการยับยั้งการสร้างตาดอก (DeMille and Vest, 1976)

พันธุ์หอมหัวใหญ่ที่เป็นพันธุ์ในเขตหนาว ต้องการอุณหภูมิต่ำ 0 ถึง 5°ซ. นาน 60 วัน เพื่อการกำเนิดดอก ส่วนพันธุ์ในเขตกึ่งร้อนเช่นพันธุ์ Burmuda ต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่านี้และระยะเวลาในการได้รับอุณหภูมิต่ำก็แตกต่างไปด้วย ในการให้อุณหภูมิต่ำแก่หัวเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์หอมหัวใหญ่พบว่าควรให้อุณหภูมิ 2ถึง5°ซ. นาน 3ถึง4 สัปดาห์ก่อนปลูก และเมื่อนำหัวพันธุ์ออกมาจากการให้อุณหภูมิต่ำแล้วควรเพิ่มอุณหภูมิที่อยู่โดยรอบเป็น 10°ซ. เพื่อป้องกันอันตรายจากอุณหภูมิสูงในแปลงปลูก (Shinohara, 1977)

ในการศึกษาหอมหัวใหญ่ 4 พันธุ์ คือ Extra Early Kaizuka Senshu Semi-globe Yellow HibernaและExpress Yellow-OX พบว่าอุณหภูมิที่เก็บรักษาหัวพันธุ์ไม่มีผลทางสถิติกับจำนวนช่อดอกเฉลี่ยต่อต้น และจำนวนวัน(เฉลี่ย)ที่เริ่มปรากฏช่อดอก (Brewster, 1982) และจากการทดลองกับพันธุ์ Trapp's Downing Yellow Globe พบว่าแสงไม่มีผลทางสถิติต่อการผลิตเมล็ด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พันธุ์ นอกจากนี้การเก็บรักษาหัวพันธุ์ไว้ที่อุณหภูมิ 7°ซ. นาน 3 เดือนแล้วให้อุณหภูมิ 2°ซ. อีก 3 เดือนจะทำให้มีเมล็ดพันธุ์ปริมาณสูงที่สุด และมีจำนวนเมล็ดต่อต้นมากที่สุด (DeMille and Vest, 1976)

สำหรับพันธุ์ Rijnsburger และ Senshyu Semi-globe ก็พบว่าเมื่อให้ต้นของพันธุ์ Rijnsburgerได้รับอุณหภูมิ 9°ซ.มีแสง 8 ชั่วโมงต่อวัน ต้นจะใช้เวลาในการกำเนิดตาดอก 86 วัน ส่วนการให้อุณหภูมิ 9°ซ. มีแสง 20 ชั่วโมงต่อวันจะใช้เวลาในการกำเนิดตาดอก 38 วัน การกำเนิดตาดอกของหอมหัวใหญ่ทั้งสองพันธุ์นั้นพบว่าที่อุณหภูมิ 12°ซ. และ 9°ซ. จะให้ผลเท่า ๆ กัน ส่วนที่อุณหภูมิ 6°ซ. จะกำเนิดตาดอกช้ากว่า โดยพันธุ์ Senshyu Semi-globe Yellow กำเนิดตาดอกช้ากว่าพันธุ์ Rijnburger (Brewster, 1983)

เมื่อเก็บหัวขนาดเท่ากันไว้ที่อุณหภูมิ 10°ซ. จะมีเปอร์เซนต์การติดเมล็ดมากกว่าการเก็บหัวไว้ที่ 0°ซ. และมีรายงานว่าอุณหภูมิมีความสำคัญมากกว่าความยาววันในการพัฒนาช่อดอกหอมหัวใหญ่การให้อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ10ถึง15.5°ซ. ในสภาพที่มีแสง 9ถึง12 ชั่วโมงต่อวันต้นหอมจะสามารถออกดอกได้ทันที ส่วนพวกที่ปลูกในสภาพที่มีอุณหภูมิสูง 21 ถึง 26.6°ซ.ไม่สามารถออกดอกได้ ไม่ว่าจะอยู่ในสภาพวันสั้นหรือวันที่ยาวถึง 15 ชั่วโมงก็ตาม(Thompson,1957) การเก็บรักษาหัวไว้ที่อุณหภูมิ 10°ซ. จะทำให้มีจำนวนช่อดอกมากกว่าการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 0 หรือ 4°ซ. และเมื่อเก็บรักษาหัวไว้ที่ 12°ซ. จะมีจำนวนช่อดอกมากกว่าที่อุณหภูมิ 4 หรือ 8°ซ. ด้วย (Ruhland, 1961)

จากการทดลองพบว่าการเก็บรักษาหัวพันธุ์ที่อุณหภูมิ 7.5 ถึง 12°ซ.จะทำให้ออกดอกเร็วขึ้น มีจำนวนช่อดอกมากขึ้น และมีปริมาณเมล็ดพันธุ์มากขึ้นด้วย เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาหัวพันธุ์ไว้ที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้ (DeMille and Vest, 1976)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การพัฒนาช่อดอกของหอมหัวใหญ่มีหลายระยะ ซึ่งแต่ละระยะต้องการอุณหภูมิที่แตกต่างกันออกไป (Brewster, 1982)

จากการทดลองในไต้หวัน พบว่าการเก็บรักษาหัวพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.6 ถึง 10 ซม. ไว้ที่อุณหภูมิ 5 ถึง 10°ซ. ก่อนนำไปปลูกจะทำให้ได้เมล็ดพันธุ์สูงสุดคือ 45 ถึง 68 กิโลกรัมต่อ 0.1 เฮ็กตาร์ (Chang, 1980) โดยระยะเวลาในการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิดังกล่าวนาน 2 เดือน ก่อนปลูกจะให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ในปริมาณที่พอเหมาะ (Chang, 1983) จากการศึกษากับหอมหัวใหญ่ 5 พันธุ์คือ Pera IPA 1 Pera IPA 2 Baia Triunfo Roxa do Barreiroและ Texas Grano 502 ให้ได้รับอุณหภูมิต่ำที่ 7 ถึง 8°ซ. เป็นเวลา 0 15 30 45 60 และ 75 วันพบว่า เมื่อนำไปปลูกทั้งหัวที่ไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำเลยและหัวที่ได้รับอุณหภูมิ ต่ำน้อยกว่า 30 วัน จะไม่ออกดอก ส่วนหัวที่เหลือนั้นพวกที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานจะออกดอก และติดเมล็ดได้ดีกว่าพวกที่ได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลาที่น้อยกว่า แต่ละพันธุ์จะมีความสามารถในการออกดอก และติดเมล็ดได้ต่างกัน แต่ระยะเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำไม่มีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์เลย (Aguiar et al, 1984)

เมื่อนำหัวของหอมหัวใหญ่ที่เกิดจากการผสมตัวเองจำนวน 3 สายพันธุ์ มาเก็บในอุณหภูมิต่ำ 4 ระดับเป็นเวลานาน 24 สัปดาห์เพื่อย้ายปลูกในฤดูใบไม้ผลิ สำหรับผลิตเมล็ดพันธุ์พบว่า การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10°ซ. นาน 12 สัปดาห์ แล้วต่อด้วยที่อุณหภูมิ 2°ซ. นาน 12 สัปดาห์ทำให้ได้เมล็ดพันธุ์ปริมาณมากกว่าการเก็บที่ 2°ซ.ตลอด 24 สัปดาห์ และสายพันธุ์ MSU 2399 B จะให้เมล็ดพันธุ์มากกว่าสายพันธุ์อื่นและออกดอกก่อนพันธุ์อื่นอีกด้วย นอกจากนี้ยังมีจำนวนใบต่อหัวสูงกว่าความสูงของช่อดอกมากกว่า และจำนวนดอกย่อยต่อหัวสูงกว่าด้วย (Hesse et al, 1980)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการทดลองหัวขนาดกลางของพันธุ์ Ebenzer และพันธุ์ Red Wethersfield ซึ่งปลูกในเรือนกระจกพบว่า ที่อุณหภูมิ 10 ถึง 15.5°ซ.จะแทงช่อดอกได้ 100 % ทั้งสองพันธุ์ แต่ที่ 15.5 ถึง 21.1°ซ.จะแทงช่อดอกได้ไม่เกิน 10%ส่วนที่ 21.1 ถึง 26.6°ซ.จะไม่มีการแทงช่อดอก(Jones and Mann,1963) และจากการศึกษาในประเทศคิวบากับพันธุ์ Red Creole ที่เก็บหัวในอุณหภูมิ 3 ถึง 12°ซ.เป็นเวลา 70 ถึง 120 วันแล้วนำไปปลูกในช่วงอุณหภูมิต่ำเดือนตุลาคม ถึง พฤศจิกายนจะให้ผลผลิตเมล็ด 300 ถึง 400 กิโลกรัมต่อเฮ็กตาร์(Munoz et al, 1986)ส่วนพันธุ์Pera IPA I Pera IPA IV Roxa IPA III เมื่อให้อุณหภูมิต่ำที่ 8 ถึง 10°ซ.เป็นเวลา 30 60 90 และ 120 วันเมื่อนำไปปลูกพบว่าพวกที่เก็บนาน 90 ถึง 120 วันจะทำให้เปอร์เซนต์การออกดอก จำนวนช่อดอกต่อต้น และปริมาณเมล็ดพันธุ์เพิ่มขึ้นได้ดีที่สุด (Aguiar, 1984) และเมื่อเก็บรักษาหัวพันธุ์ Behairy ไว้ที่อุณหภูมิ 5 หรือ 10°ซ. เป็นเวลา 30 60 และ 90 วัน เปรียบเทียบกับการเก็บไว้ที่ 25°ซ.เพื่อเป็นกลุ่มควบคุมพบว่า กลุ่มที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10°ซ.เป็นเวลา 90 วัน จะออกดอกก่อนกลุ่มที่เก็บไว้ในอุณหภูมิ 5°ซ. หรือ 25°ซ เป็นเวลา 7 และ 20 วันตามลำดับ และยังมีเปอร์เซนต์การออกดอกสูงสุด(97%) กลุ่มที่เป็นชุดควบคุมพบว่าออกดอก 54 % ส่วนผลผลิตเมล็ดที่ได้สูงสุดนั้นได้จากหัวที่เก็บไว้ที่ 10°ซ. (ไม่ว่าจะเก็บนานเท่าไร) ถัดมาก็คือกลุ่มซึ่งเก็บไว้ที่ 5°ซ. และที่ต่ำสุดเป็นกลุ่มควบคุม การที่มีผลผลิตสูงเป็นเพราะมีจำนวนช่อดอกต่อต้นเพิ่มขึ้น (Behairy and El-Habbasha, 1980)

จากการทดลองในเวลา 3 ปีกับหอมหัวใหญ่พันธุ์ Danilovskii 301 และพันธุ์ Odnoletnii Gribovskii 702 เมื่อนำหัวมาให้อุณหภูมิ 2 ถึง 5°ซ. (กลุ่มควบคุม)เปรียบเทียบกับกลุ่มที่ให้อุณหภูมิ 2 ถึง 5°ซ.แล้วต่อด้วยอุณหภูมิ 18 ถึง 20°ซ. นาน 25 ถึง 30 วันพบว่าการได้อุณหภูมิของกลุ่มที่สองนี้เมล็ดจะแก่เร็ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กว่ากลุ่มควบคุม 7 ถึง 10 วันโดยมีปริมาณเมล็ดพันธุ์ 654-690 กิโลกรัมต่อเฮ็กตาร์ ส่วนกลุ่มควบคุม 563 ถึง 592 กิโลกรัมต่อเฮ็กตาร์ (Ershov and Nikul' SHIN, 1984)

นอกจากนี้หอมหัวใหญ่พันธุ์ Makoi เมื่อหัวพันธุ์ได้รับอุณหภูมิของการเก็บรักษาที่ 12.5°ซ. เป็นเวลา 60 ถึง 70วันจะเกิดการกระตุ้นให้เกิดช่อดอกและการแทงช่อดอก ในขณะที่อุณหภูมิ 20° และ 30°ซ.จะยับยั้งการเกิดช่อดอก (Szalay, 1976)

2. ความยาววัน (จำนวนชั่วโมงที่มีแสงต่อวัน)

จากการศึกษาสรุปว่า ความยาวของวันไม่มีผลโดยตรงในการกำเนิดดอก แต่ในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำนั้น วันยาวจะเหมาะสมต่อการแทงช่อดอกและการยืดยาวของช่อดอกเป็นอย่างยิ่ง ผลของอุณหภูมิและความยาววันที่มีต่อการกำเนิดดอก การแทงช่อดอก และการลงหัวมีดังนี้

2.1 อุณหภูมิสูงและวันสั้น

(1) ไม่มีการลงหัว

(2) ไม่มีการกำเนิดตาดอก

(3) ไม่มีการแทงช่อของตาดอกที่กำเนิดมาก่อนแล้วในอุณหภูมิต่ำ

2.2 อุณหภูมิสูงและวันยาว

(1) มีการลงหัว

(2) ไม่มีการกำเนิดตาดอก

(3) ตาดอกที่กำเนิดมาก่อนแล้วจะถูกทำลาย

2.3 อุณหภูมิต่ำและวันสั้น

(1) ไม่มีการลงหัว

(2) มีการแทงช่อดอกอย่างช้าๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 อุณหภูมิต่ำและวันยาว

2.4.1 ถ้าลงหัว

(1) ตาดอกที่กำเนิดมาก่อนแล้วจะถูกทำลาย

(2) ตาดอกที่กำเนิดจะแทงออกมาได้ภายหลังจากที่หัวหอมงอก

2.4.2 ถ้าไม่ลงหัว

(1) มีการกำเนิดของช่อดอก

(2) ช่อดอกแทงขึ้นมาอย่างรวดเร็ว (Brewster, 1977)

จากการศึกษาแสดงถึง ช่อดอกแต่ละช่อที่เกิดขึ้นระหว่างที่หัวหอมอยู่ในโรงเก็บจะมีแกนของลำต้นเกิดร่วมด้วย สภาพแวดล้อมจะเป็นเครื่องชี้ว่า ควรจะเป็นช่อดอกหรือยอดของลำต้นที่จะเจริญออกมาและพบว่า ถ้าอุณหภูมิ 21.1°ซ.จะเหมาะแก่การพัฒนาทางลำต้น ส่วนอุณหภูมิ 12.8°ซ.จะเหมาะสมแก่การสร้างดอก และสภาพวันสั้นจะเหมาะสมแก่การผลิตเมล็ด ช่อดอกจะเจริญออกมาอย่างช้าๆ ในที่มีอุณหภูมิต่ำและวันสั้นส่วนอุณหภูมิสูงและวันสั้นจะไม่มีการเจริญของดอก (Hawthorn and Pollard, 1954) การเจริญของช่อดอกนั้น อุณหภูมิมีความสำคัญยิ่งกว่าความยาววัน ที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ(50ถึง60°ฟ.)ภายใต้สภาพวันสั้น (9ถึง12 ชั่วโมง)ต้นหอมจะออกดอกทันที ส่วนที่อุณหภูมิสูง (70ถึง80°ฟ.)จะไม่เกิดช่อดอก ไม่ว่าจะอยู่ในสภาพวันสั้นหรือวันที่ยาวถึง 15 ชั่วโมง และจากการศึกษาในประเทศอังกฤษก็ได้ผลคล้ายกันคือ ความยาววันและอุณหภูมิจะมีปฏิกริยาร่วมในการออกดอกของหอมหัวใหญ่ที่ปลูกจากหัวย่อย ที่อุณหภูมิสูงพอที่จะลงหัวได้ดีนั้น สภาพวันยาวจะไม่ทำให้ออกดอก แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำที่ป้องกันหรือชลอการลงหัวแล้วสภาพวันยาวจะกระตุ้นการงอกของช่อดอกให้เร็วขึ้น โดยความยาววันจะไม่มีผลต่อการกำเนิดดอก แต่ความยาววันจะมีผลต่ออัตราการเจริญและการยืดตัวของช่อดอก (Thompson, 1957)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการออกดอกของหอมหัวใหญ่ต้องได้รับอุณหภูมิต่ำและวันยาว ความต้องการวันยาวเพื่อการออกดอกจะแตกต่างจากความต้องการเพื่อลงหัว โดยหลักการแล้วต้นหอมต้องได้รับอุณหภูมิต่ำระยะหนึ่ง (vernalization) เพื่อชักนำให้ออกดอก ถ้าไม่ได้รับอุณหภูมิต่ำก็จะไม่สามารถเริ่มพัฒนาส่วนต่างๆ เพื่อการสืบพันธุ์ได้ ภายหลังจากที่กำเนิดดอกแล้วพืชต้องการสภาพวันยาวอยู่ช่วงหนึ่งเพื่อที่จะพัฒนาก้านดอกต่อไป (Shinohara, 1977) มีผู้รายงานหลายคนระบุว่า การเจริญของช่อดอกภายหลังจากที่กำเนิดแล้ว จะมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับความยาวช่วงแสง (Brewster, 1983) จากการทดลองให้แสงในระหว่างที่หัวพันธุ์กำลังได้รับอุณหภูมิต่ำพบว่า การที่พันธุ์ Trapp's Downing Yellow Globe ได้รับแสงในโรงเก็บแสงจะลดจำนวนวันซึ่งต้องการเพื่อการออกดอก เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้อุณหภูมิต่ำและอยู่ในที่มืด โดยกลุ่มที่ได้รับแสงนาน 12 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 24 ชั่วโมงต่อวัน จะออกดอกก่อนกลุ่มที่อยู่ในที่มืด 2 ถึง 4 วัน การที่ออกดอกก่อนนี้เชื่อว่าเป็นผลของไฟโตโครม (DeMille and Vest, 1975) นอกจากนี้เมื่อทดลองกับพันธุ์ Senshuki และพันธุ์ Imai-wase พบว่าต้นหอมที่แต่เดิมปลูกในช่วงแสง 8 ชั่วโมง ภายใต้อุณหภูมิปกติ เมื่อย้ายไปไว้ในอุณหภูมิต่ำ 9°ซ.ต้องใช้เวลา 60 ถึง 70 วัน สำหรับการเกิดการตาดอก ในขณะที่พวกที่ปลูกในช่วงแสง 24 ชั่วโมงต้องใช้เวลา 80ถึง90วัน และต้นหอมที่ปลูกในช่วงแสง 8 12 หรือ 16 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 9°ซ. ต้องใช้เวลา 50ถึง 60 วันส่วนพวกที่ปลูกในช่วงแสง 24 ชั่วโมงจะใช้เวลาเพียง 30ถึง40วันนอกจากนี้ยังพบว่าต้นที่คลุมด้วยผ้าขาวบางต้องได้รับอุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานกว่าพวกที่ปลูกในแสงแดดเต็มที่ จึงจะสามารถกำเนิดตาดอกได้ (Shishido and Saiyo, 1977a)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ขนาดของหัว

การกำเนิดช่อดอกของหอมหัวใหญ่ นอกจากหัวย่อยขนาดใหญ่จะกำเนิดช่อดอกได้ดีแล้ว ต้นหอมขนาดใหญ่ยังกำเนิดช่อดอกได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าการเก็บรักษาหัวพันธุ์ไว้ที่อุณหภูมิ 9ถึง13°ซ.นั้นหัวย่อยขนาดใหญ่จะกำเนิดช่อดอกได้เร็วกว่าหัวย่อยขนาดเล็ก แต่หัวย่อยขนาดใหญ่นั้นการยับยั้งการกำเนิดดอกต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นเวลานานกว่าหัวย่อยขนาดเล็ก (Brewster, 1977)

มีรายงานเกี่ยวกับพันธุ์หอมหัวใหญ่ ที่มีใบพอที่จะสร้างหัวด้านข้างขึ้นมาใหม่นั้น การกำเนิดดอกจะเกิดก็ต่อเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ยเป็น 5°ซ.และมีอุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่า 10°ซ. ถ้าป้องกันการสร้างหัวด้านข้างโดยนำไปปลูกซ้ำอีก การกำเนิดดอกจะเกิดที่อุณหภูมิเฉลี่ย 10°ซ.และมีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในช่วง 13 และ 2°ซ. ซึ่งดูคล้ายกับว่าการกำเนิดดอก และการสร้างหัวด้านข้างขึ้นมาใหม่นี้จะมีผลในทางตรงกันข้าม (Brewster, 1977)

ขนาดของหัวมีความสำคัญต่อการกำเนิดช่อดอก หัวที่มีขนาดใหญ่จะมีเปอร์เซนต์การออกดอกสูงกว่าหัวที่มีขนาดกลางหรือขนาดเล็ก(Thompson, 1957) และขนาดของหัว จะเป็นปัจจัยที่กำหนดว่าต้นพืชจะยังคงมีการเจริญเติบโตทางลำต้นหรือว่าควรจะออกดอก จากการศึกษากับหอมหัวใหญ่พันธุ์ silverskin พบว่าหัวหอมที่เกิดดอกได้จะต้องมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักอย่างน้อย 20 กรัม (Ruhland, 1961) และจากการศึกษาขนาดของหอมหัวใหญ่พันธุ์ต่างๆ พบว่า หัวพันธุ์ขนาดใหญ่จะให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์มากกว่าหัวพันธุ์ขนาดเล็ก (El Gasim Ahmed and Harrington, 1974 ; Munoz et al.,1985 ; Rusev ,1975; Rusev, 1980c; Singh et al., 1985) ในการทดลองกับหอมหัวใหญ่ 4 พันธุ์พบว่าหัวพันธุ์ขนาดใหญ่จะผลิตช่อดอกจำนวน 2 เท่าของหัวพันธุ์ขนาดเล็ก แต่การผลิตเมล็ดพันธุ์จากหัวขนาดใหญ่มีข้อเสียคือ หัวมีราคาแพง ในการเก็บรักษามักเสียหาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยหัวขนาดใหญ่จะมี อาการฉ่ำน้ำและหัวขนาดใหญ่ยังตายง่ายจากการได้รับบาดแผลที่เกิดจากเครื่องปลูก (Shinohara, 1977)

ขนาดของหัวพันธุ์ที่ใช้ในการผลิตเมล็ดพันธุ์ก็แตกต่างกันไปเช่น ในไต้หวันแนะนำว่าควรปลูกจากหัวพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.6ถึง10เซนติเมตร ซึ่งไม่ได้ระบุพันธุ์ (Chang, 1983) สำหรับหัวพันธุ์ Bianca di Barletta ควรใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.5 ถึง 7.5 เซนติเมตร (Miccolis and Vitucci, 1985) และเมื่อทดลองกับหอมหัวใหญ่หลายพันธุ์ที่หัวพันธุ์มีขนาดแตกต่างกัน 3 ขนาดพบว่า หัวพันธุ์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5ถึง3 นิ้วจะให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์สูงที่สุด (Hawthorn and Pollard, 1954 ; Shinohara, 1977) นอกจากนี้หัวพันธุ์ขนาดใหญ่จะให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ และจำนวนช่อดอกมากกว่าหัวพันธุ์ขนาดเล็ก สำหรับการผลิตเมล็ดพันธุ์หอมหัวใหญ่ในรัฐไอดาโฮ สหรัฐอเมริกานั้น หัวพันธุ์ควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.8ถึง6.3 เซนติเมตร(หรือ 1.5ถึง2.5 นิ้ว) (Shinohara, 1977)

สำหรับพันธุ์ Yellow Globe Danvers หัวพันธุ์ควรมีน้ำหนัก 81 กรัม (Shinohara, 1977) และเมื่อศึกษากับพันธุ์ Lyaskovskii พบว่าหัวพันธุ์ที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 60 กรัมขึ้นไปผลผลิตเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มมากขึ้น และขนาดของหัวพันธุ์มีปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการปลูกช้าหรือเร็ว (Rusev, 1980b) ส่วนน้ำหนักของหัวพันธุ์ 50ถึง100 กรัมและ100ถึง150 กรัมจะให้ผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ไม่แตกต่างกันทางสถิติและหัวขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่ทำให้เกิดจำนวนช่อดอก จำนวนและน้ำหนักเมล็ดพันธุ์มากกว่าหัวขนาดเล็ก (Green, 1972) และพันธุ์ Pioneer น้ำหนักของหัวพันธุ์ที่จะให้เมล็ดนั้นต้องมากกว่า 60 กรัม (Rusev, 1980c)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้หัวย่อยเพื่อผลิตเมล็ดพันธุ์ พบว่าพันธุ์ Baasheka หัวขนาด 1.9 ถึง 2.2 เซนติเมตรมีเปอร์เซนต์การแทงช่อดอกมากกว่าหัวขนาด 0.8ถึง1.1 เซนติเมตร (Natlob and El-Haber, 1984) และปกติหัวที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 3/4 นิ้วจะเกิดช่อดอกได้ (Splittstoesser, 1979)

การให้อุณหภูมิต่ำที่เหมาะสมต่อการเกิดตาดอกของพันธุ์ Senshuki ควรใช้ต้นพันธุ์ที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 มิลลิเมตรและพันธุ์ Sapporoki ต้นควรมีขนาดใหญ่กว่า 9 มิลลิเมตร (Shishido and Saito, 1977b)

4. สารควบคุมการเจริญเติบโต

มีรายงานถึงการกำเนิดช่อดอกของหอมหัวใหญ่ มีส่วนสัมพันธ์กับระดับจิบเบอเรลลินที่เพิ่มขึ้นภายในหัว (Brewster, 1983) จากการทดลองผลิตเมล็ดพันธุ์หอมหัวใหญ่พันธุ์ Grano พบว่า การให้GA_3 50 สตล. เพียงหนึ่งครั้ง ทำให้แทงช่อดอก 80 % ในเวลาเพียง 14 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมซึ่งต้องใช้เวลาถึง 27 วัน และGA_3 ยังทำให้ช่อดอกมีขนาดใหญ่ขึ้นและติดเมล็ดเพิ่มขึ้น 30 % แต่ GA_3 ไม่มีผลต่อการมีชีวิตของเมล็ดพันธุ์ (Naamni et al., 1980) เมื่อฉีดพ่น GA_3 ความเข้มข้น 25 50 และ 500 สตล. กับหอมหัวใหญ่พันธุ์ White Creole พบว่าทำให้การแทงช่อดอกมีเปอร์เซนต์เพิ่มขึ้น และเพิ่มผลผลิตเมล็ดพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในความเข้มข้นทุกระดับ แต่ GA_3 ไม่มีผลต่อเปอร์เซนต์ความงอกของเมล็ด (Loper and Waller, 1982) ในหอมหัวใหญ่พันธุ์ Sapporo-ki พบว่าต้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนคอ(ลำต้น) 10 มิลลิเมตรจะใช้เวลาให้อุณหภูมิต่ำ (9°ซ) เพื่อกระตุ้นตาดอกอย่างน้อย 20 วัน โดย GA_3 100 สตล.เกือบจะไม่มีผลต่อการเกิดดอก ส่วนพวกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางส่วนคอ(ลำต้น) 7 มิลลิเมตรใช้เวลาให้อุณหภูมิต่ำ 40 ถึง 50 วัน จึงจะออกดอกและการให้ GA_3 จะทำให้ความต้องการอุณหภูมิต่ำลดลงเหลือ 20 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดย GA_3 จะทำงานได้ผลดีก็ต่อเมื่อให้ก่อนหรือระหว่างที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ และจะไม่ได้ผลเมื่อให้ GA_3 ภายหลังจากที่ได้รับอุณหภูมิต่ำ การเร่งให้เกิดตาดอกของ GA_3 นี้จะมีผลที่เนื้อเยื่อ meristem ในการศึกษาครั้งนี้ยังมีการเปรียบเทียบผลของGA_3 ethephon และดามินโนไซด์(SADH)พบว่า SADH ที่ 2000 สตล. จะยับยั้งการเติบโตและการเกิดตาดอกเพียงเล็กน้อย ส่วนethephon 500และ1,000 สตล.จะยับยั้งอย่างรุนแรง และ GA_3 100 สตล.จะเพิ่มจำนวนใบและเร่งการเกิดตาดอก (Shishido and Saito, 1984)

การศึกษาหอมหัวใหญ่โดยแช่หัวในสารละลาย IAA IBA NAAและคลอมิควอต (chlormequat) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อศึกษาผลที่มีต่อการออกดอกและผลิตเมล็ดพันธุ์ พบว่า chlormequat ไม่มีผลและ auxin จะชัดขวางการออกดอก การแช่หัวในสารละลาย NAA ทำให้จำนวนหน่อที่ไม่มีดอกต่อหัวเพิ่มขึ้น การฉีดพ่น chlormequat 3,000 สตล.ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 8 สัปดาห์ทำให้จำนวนต้นที่ออกดอกเพิ่มมากขึ้น และการฉีดพ่น MH ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 3 สัปดาห์ในระยะการเจริญที่เหมาะสม ทำให้การออกดอกลดลงและน้ำหนักหัวเพิ่มขึ้น นอกจากนี้มีรายงานการให้ethephonความเข้มข้น 240และ480 สตล. ขณะที่ก้านช่อดอกงอกแล้วเป็นส่วนมากนั้น จะทำให้ก้านช่อดอกสั้นลงโดยไม่ทำให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ลดลงการให้ethephonก่อนหน้านี้จะยับยั้งการงอกของช่อดอก(Brewster,1977)

การพ่น ethephon ที่ความเข้มข้น 2,500 หรือ 5,000 สตล.ในฤดูใบไม้ร่วงและปลายฤดูหนาว พบว่าจะลดการแทงช่อดอกหอมหัวใหญ่ที่ปลูกในฤดูใบไม้ร่วง หอมหัวใหญ่ที่ทดลองเป็นพันธุ์วันสั้นได้แก่พันธุ์ Yellow Grano 502 Yellow Grano 502 PRR Yellow Granex SID White Grano และ White Grano นอกจากนี้ethephonจะยับยั้งการเติบโตของต้นและทำให้หัวมีขนาดเล็กลง(Corgan and Izquierdo,1979)การทดลองพ่นehephon 5,000 สตล.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กับต้นหอมหัวใหญ่พันธุ์Yellow Grano 502 PRR ที่เพาะเมล็ดในฤดูใบไม้ร่วงพบว่าทำให้การเติบโตของแผ่นใบช้าลงและยับยั้งการแทงช่อดอก การยับยั้งการแทงช่อดอกจะมีสหสัมพันธ์กับขนาดของหัวเมื่อฉีดพ่นสารอย่างมีนัยสำคัญ การยับยั้งการแทงช่อดอกนี้จะได้ผลดีที่สุดเมื่อหัวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 ถึง 1.6 เซนติเมตร การที่ ethephon ลดการแทงช่อดอกอย่างมากนี้ทำให้เก็บเกี่ยวหัวได้มากขึ้นและได้ผลผลิตหัวสูงขึ้น ส่วนแปลงควบคุมที่มีเปอร์เซนต์การแทงช่อดอกต่ำอยู่แล้ว ehephon จะทำให้ผลผลิตหัวลดลงโดยน้ำหนักเฉลี่ยของหัวลดลง (Izquiendo and Corgan, 1980)

5. ระยะปลูก

ธรรมชาติการออกดอกของหอมหัวใหญ่ จำเป็นต้องได้รับการชักนำให้มีกำเนิดดอกก่อน จึงจะสามารถแทงช่อดอกออกมาได้ การชักนำให้ออกดอกนี้อาจเกิดได้กับต้นหอมที่กำลังเจริญเติบโต หรือหัวที่พ้นจากสภาพพักตัวแล้วก็ได้ การชักนำให้เกิดดอกทำได้โดย การให้ต้นหรือหัวได้รับอุณหภูมิต่ำอยู่ระยะหนึ่ง ซึ่งช่วงเวลาที่ได้รับอุณหภูมิต่ำจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ นอกจากนี้ขนาดของต้นหรือหัวก็มีความสำคัญต่อการชักนำด้วย ต้นหรือหัวที่มีขนาดเล็กเกินไปจะไม่สามารถ ชักนำได้ ขนาดที่จะชักนำได้ต้องมีขนาดถึงระดับหนึ่งก่อนและเป็นที่น่าสังเกตว่า ขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดจำกัดขั้นต่ำแล้ว ในแต่ละขนาดจะมีความไวต่อสภาพชักนำได้แตกต่างกันและเมื่อผ่านการชักนำแล้ว ผลการชักนำที่เกิดกับต้นหรือหัวอาจจะไม่สามารถคงอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมคือ สภาพที่มีอุณหภูมิสูง

จากการศึกษาที่สถานีวิจัยที่เดวิส แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกาเป็นเวลา 4 ปีกับหอมหัวใหญ่พันธุ์ Yellow Globe Danvers โดยใช้หัวขนาดโตปานกลาง เมื่อปลูกที่ระยะระหว่างแถว 3 ฟุตและระยะระหว่างต้น 3 4 6 8 และ 12 นิ้วตามลำดับปรากฏว่าให้ผลผลิตเมล็ดเป็น 1,337 1,145 884 736 และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

563 ปอนด์ต่อเอเคอร์ตามลำดับแสดงว่าระยะปลูกมีผลต่อผลผลิตเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มระยะปลูกจะทำให้มีจำนวนช่อดอกต่อต้นเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ผลผลิตต่อต้นเพิ่มขึ้นด้วย แต่การเพิ่มขึ้นนี้ไม่พอที่จะชดเชยต่อจำนวนหัวที่ปลูกลดลง จึงทำให้ผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกลดลง อย่างไรก็ตามการปลูกชิดกันมากจะมีข้อเสียคือ การระบายอากาศรอบๆ ต้นไม่ดี และหลังจากให้น้ำต้นจะแห้งได้ช้า และการที่มีน้ำค้างจัดหรือมีฝนตกจะทำให้เป็นโรค downy mildew neck rot และโรคอื่นๆได้ง่าย จึงดูคล้ายกับว่าการปลูกให้ระยะในแถวห่างกัน เพื่อให้มีการถ่ายเทอากาศได้ดีจะเหมาะสมที่สุดในการที่จะให้มีจำนวนต้นต่อพื้นที่สูงขึ้น ก็อาจทำได้โดยใช้ระยะระหว่างแถวชิดกัน (Jones and Mann, 1963)

จากการศึกษาที่พูลแมน(Pullman)ซึ่งอยู่ทางตะวันออกของรัฐวอชิงตัน สหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นเขตที่มีฝนตกเพียง 18 ถึง 22 นิ้วในฤดูหนึ่ง โดยทดลองกับหอมหัวใหญ่พันธุ์ Yellow Globe Danvers ที่หัวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ถึง 3 นิ้ว ปลูกในเดือนเมษายน โดยปลูกให้หัวติดกันภายในแถว และให้ระยะระหว่างแถวห่างกัน 6 9 18 และ 36 นิ้ว พบว่าผลผลิตเมล็ดต่อเอเคอร์จะลดลงตามระยะระหว่างแถวที่เพิ่มขึ้น ผลผลิตเมล็ดจากการใช้ระยะที่ชิดกันมากๆ จะสูงกว่าผลผลิตที่ผลิตเมล็ดพันธุ์เพื่อการค้าโดยทั่วไป แสดงให้เห็นว่าผลผลิตเมล็ดพันธุ์สามารถเพิ่มได้อีก แต่การกำจัดวัชพืชด้วยเครื่องมือต่างๆ ในแปลงที่ใช้ระยะที่ชิดกันนี้กระทำได้ยากมาก นอกจากนี้ยังมีรายงานแสดงให้เห็นว่า หอมหัวใหญ่เกือบทุกพันธุ์จะให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ 400ถึง500 ปอนด์ต่อเอเคอร์บางครั้งอาจได้ผลผลิตต่ำกว่านี้ แต่ในบางครั้งเนื่องจากสภาพแวดล้อมเหมาะสม อาจทำให้ได้ผลผลผลิตเมล็ดพันธุ์สูงกว่า 2,000 ปอนด์ต่อเอเคอร์ (Jones and Mann, 1963)

การศึกษากับหอมหัวใหญ่พันธุ์ Lyaskovski 58 ที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน 4 ระดับและระยะปลูก 3 ระดับพบว่าผลผลิตเมล็ดพันธุ์จะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักหัวพันธุ์ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เพิ่มขึ้นและระยะปลูกที่ลดลง คือจะให้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์สูงสุดเมื่อใช้ระยะปลูก 420 ตารางเซนติเมตรต่อต้น (70 x 6 เซนติเมตร) เมื่อเปรียบเทียบกับระยะปลูก 1,050 และ 1,750 ตารางเซนติเมตร ในระยะปลูกที่ให้ผลดีดังกล่าวหัวพันธุ์ที่หนักกว่า 80 กรัมขึ้นไปจะไม่เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ และน้ำหนักหัวพันธุ์และระยะปลูกมีผลต่อคุณภาพเมล็ดพันธุ์เพียงเล็กน้อย (Rusev, 1980a)

การศึกษาผลิตเมล็ดพันธุ์หอมหัวใหญ่พันธุ์ Senshu พบว่า เมื่อใช้ระยะระหว่างแถว 90 เซนติเมตร ระยะห่างภายในแถว 36 ถึง 45 เซนติเมตร จะใช้หัวพันธุ์ 720ถึง860 กิโลกรัมหรือ 3,000 ถึง 3,600 หัวต่อ 1,000 ตารางเมตร (Shinohara, 1977) และการผลิตเมล็ดพันธุ์ในไต้หวันได้แนะนำว่าควรใช้ระยะปลูกของหัวพันธุ์ คือ 80 x 20 เซนติเมตรหรือ 80 x 30 เซนติเมตร ซึ่งจะได้ผลผลิตเมล็ดพันธุ์ 45 ถึง 68 กิโลกรัมต่อ 0.1 เฮ็กตาร์ (Chang,1980; Chang, 1983) สำหรับหอมหัวใหญ่พันธุ์ Santa Cruz ที่ทดลองในประเทศเม็กซิโก โดยการเปรียบเทียบระยะระหว่างแถว 0.62 0.72 และ 0.92 เมตรพบว่าผลผลิตเมล็ดพันธุ์จะสูงสุดเมื่อใช้ระยะระหว่างแถว 0.62 เมตรคือ 877.3 กิโลกรัมต่อเฮ็กตาร์ และเปรียบเทียบระยะภายในแถว 0.1 0.2 และ 0.3 เมตรพบว่าผลผลิตเมล็ดพันธุ์จะสูงสุดเมื่อใช้ระยะภายในแถว 0.1 เมตรคือ 954.4 กิโลกรัมต่อเฮ็กตาร์ (Diaz Arguelles et al., 1986)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved